Leitfaden zum Prüfen und Überprüfen von Niederspannungsanlagen

Version 1.0, Bestellnr. 20 751 368

METREL®

METREL d.d.
Ljubljanska cesta 77
1354 Horjul
Slowenien
Website: http://www.metrel.si
E-Mail: metrel@metrel.si

© 2008 METREL

Kein Teil dieses Dokuments darf ohne schriftliche Genehmigung von METREL in irgendeiner Form oder mit irgendeinem Mittel vervielfältigt oder verwendet werden.

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung 4
1.1 Anwendungsbereich 4

2 Allgemeines über elektrische Anlagen 5
2.1 Elektrische Anlagentypen nach Spannungsart 5
2.2 Elektrischen Anlagentypen nach Erdungssystem 6
2.2.1 TT-Netz 6
2.2.2 TN-Netz 7
2.2.2.1 TN-S-Netz 7
2.2.2.2 TN-C-Netz 8
2.2.2.3 TN-C-S-Netz 8
2.2.3 IT-Netz 9
2.2.4 RLV-Netz 10
2.3 Elektrische Anlagetypen nach der Anzahl der Phasen 10
2.4 Bestandteile elektrischer Anlagen 12
2.5 Kennzeichnung von Installationsbauteilen 17

3 Vorschriften und Normen 19
3.1 Richtlinien, Vorschriften 19
3.2 Normen 19
3.2.1 Niederspannungsanlagen 20
3.2.2 Bestandteile in elektrischen Anlagen 21
3.2.3 Prüfen und Überwachen der Sicherheit elektrischer Anlagen 21

4 Sicherheit elektrischer Anlagen 22
4.1 Ersatzschaltbilder elektrischer Anlagen 22
4.2 Gefahren 24
4.2.1 Gefährliche Körperströme 24
4.2.1.1 Anforderungen zum Trennen durch Schutzeinrichtungen in verschiedenen Anlagennetzen 25
4.2.2 Sonstige Gefahren 28
4.2.2.1 Fehlerspannung, Berührungsspannung, Fehlerstrom, Körperströme 28
4.2.2.2 Überhitzung 30
4.2.2.3 Blitzeinschlag 30
4.2.2.4 Fehler in elektrischen Anlagen – Zusammenfassung 32
4.3 Prüfeinrichtungen für elektrische Anlagen 33
4.3.1 Einhaltung von Richtlinien und Normen 33
4.3.2 Kennzeichnungen und Spezifikationen der Einrichtungen 34
4.3.3 Genauigkeit des Instruments, Kalibrierung, Nachkalibrierung 34
4.3.4 Überspannungskategorie 35
4.3.5 Verschmutzungsgrad 39
4.3.6 Schutz durch das Gehäuse 40

5 Sicherheitsmanagement elektrischer Anlagen 42
5.1 Entwurfsüberprüfung 43
5.2 Überprüfung nach der Montage (Erstüberprüfung) 43
5.3 Wartungsprüfung (nach Änderungen, Erweiterungen, Abänderungen, Instandsetzung) 43
5.4 Regelmäßige (wiederkehrende) Prüfung 43
5.4.1 Zeitabstand für Folgeprüfungen 43

6 Inspektionen und Prüfungen 45
6.1 Inspektionen 45
6.1.1 Erforderlicher Umfang der Sichtprüfung – IEC 60364 45
6.2 Tests 46
6.2.1 Isolationswiderstand 46
6.2.1.1 Isolation der gesamten Anlage 47
6.2.1.2 Isolationswiderstand einzelner Stromkreise / Objekte 49

6.2.2 Durchgangsprüfung von Schutzleitern und Potentialausgleichsverbindungen 52
6.2.2.1 Standard-Durchgangsprüfung 53
6.2.2.2 Durchgangsmessung in TN-Netzen – der Schleifentest N-PE 54
6.2.2.3 Prüfung der Potentialausgleichsverbindung 55
6.2.3 Erdungswiderstand 58
6.2.3.1 Zweidrahtprüfung des Erdungswiderstands, interner Generator, keine Sonden 61
6.2.3.2 Erdschleifenprüfung, externe Quelle, keine Sonden 61
6.2.3.3 Drei-/Vierdrahtprüfung des Erdungswiderstands, interner Generator, zwei Sonden 62
6.2.3.4 Erdungswiderstandsprüfung mit Stromzange und zwei Sonden 64
6.2.3.5 Erdungswiderstandsprüfung mit zwei Stromzangen 65
6.2.4 Schleifenimpedanz 74
6.2.4.1 Standard-Schleifenmessung 78
6.2.4.2 Messung von Z_{SCHL} in RCD-geschützten TN-Netzen 78
6.2.5 Leitungsimpedanz 84
6.2.5.1 Leitungsimpedanzmessung 86
6.2.6 RCD-Prüfung 91
6.2.6.1 Prüfung ohne Auslösen, Prüfungen von Berührungsspannung und Fehlerschleifenwiderstand 93
6.2.6.2 Prüfung der Auslösezeit 94
6.2.6.3 Prüfung des Auslösestroms 96
6.2.7 Phasenfolge 98

7 Moderne Arbeitsprinzipien zur Überprüfung von Installationen 100
7.1 Arbeitsphasen 103
7.1.1 Vorbereitungsphase 103
7.1.2 Arbeiten am Objekt 105
7.1.3 Abschluss 107
7.2 Anlagenstruktur 110
7.3 Autosequence 112

Vergleich der Sicherheitsprüfverfahren für Elektroanlagen 113

8 Überprüfungsprotokolle 117
8.1 Vorschlag für ein Überprüfungsprotokoll nach IEC 60364-6: 2006 117
8.1.1 Beschreibung der Anlage / Projektdaten 118
8.1.2 Beschreibung der Eigenschaften der ankommenden Versorgung 120
8.1.3 Beschreibung der Erdungsvorrichtung des Verbrauchers (Elektrode, Verdrahtung) 121
8.1.4 Beschreibung der Hauptabtrenn-/-Schutzeinrichtungen 122
8.1.5 Beschreibung der Sichtprüfung 123
8.1.6 Beschreibung von Einzelheiten zu den Stromkreisen sowie Prüfergebnisse 126

9 METREL-Installationstester 129

10 Anhang A – RCDs (Betrieb, Auswahl, Installation) 130
10.1 RCD-Auswahltabelle nach Empfindlichkeit 130
10.2 Abgrenzungsprinzip für RCDs 131
10.3 RCD-Produkttypen 132

11 Anhang B – Einadrige Kupferdrähte 133

12 Anhang C – Abmessungen von Leitern 135

13 ANHANG D: Sonstige elektrische Messungen 138
13.1 Isolationswiderstandsmessungen von nicht oder schwach leitenden Räumen 138
13.1.1 Widerstandsmessung von nichtleitenden Wänden und Fußböden 138
13.1.2 Widerstandsmessung von schwach leitenden Fußböden 139
13.2 Spezifischer Erdwiderstand nach EN 61557-5 141
13.3 Überspannungsschutzbauteile 143

1 Einführung

1.1 Anwendungsbereich

Dieser Leitfaden ist für Elektriker vorgesehen, die sich mit Messungen in elektrischen Niederspannungsanlagen befassen.
Hauptzweck dieses Dokuments:

- Hervorheben der Bedeutung der Sicherheitsprüfung elektrischer Anlagen. Beschreibung potentieller Gefahren und geeigneter Schutzmaßnahmen.
- Beschreibung von Prüfmethoden. Es werden verschiedene Arten der Prüfung (anfängliche, Wartungsprüfungen, regelmäßige, Sichtprüfungen, Messungen) behandelt.
- Die unterstützende Dokumentation (Inspektions- und Prüfprotokolle) wird beschrieben.
- Neue Prüftechniken (Vorbereitung, korrekte Dokumentation von Ergebnissen) werden beschrieben. Die Vorteile neuer innovativer Messgeräte werden dargelegt.
- Das Dokument bezieht sich auf die neueste Ausgabe der technischen Normen IEC 60364 und IEC 61557 (beide 2007 herausgegeben).

2 Allgemeines über elektrische Anlagen

Dieses Dokument behandelt hauptsächlich NS-Anlagen, den letzten Teil des Stromversorgungsnetzes (Objekte 6 und teilweise 5 im nachstehenden Bild).

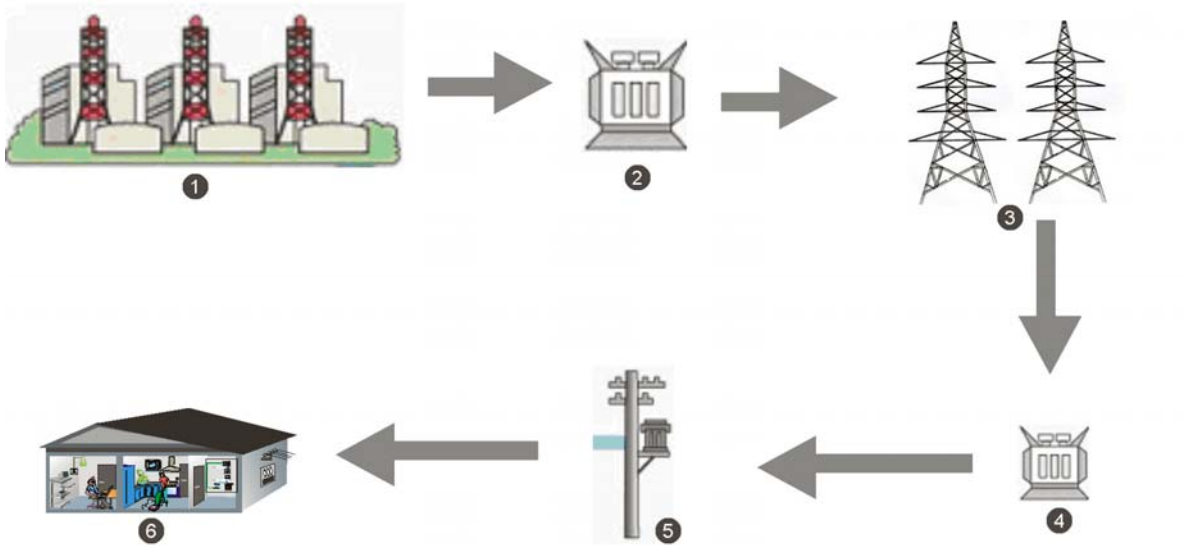


Bild 1: *Stromversorgungssystem 1*

Das vollständige Stromversorgungssystem besteht aus:
1. Kraftwerk (wo die Elektrizität erzeugt wird);
2. HS-Umspannwerk (Hochtransformieren der Spannung zur Übertragung);
3. Übertragungsleitungen (Verteilen der Energie zu Gebieten, in denen sie benötigt wird);
4. MS-Umspannwerk (transformiert HS zu MS);
5. Verteilertransformator (transformiert MS zu NS, typisch 400 V, 600 V), Freileitungen (verteilen Elektrizität zu Haushalten, Fabriken usw.);
6. Gebäude (Elektrizitätsverbraucher).

2.1 Elektrische Anlagentypen nach Spannungsart

Anlagen können nach der Spannungsart wie folgt eingeordnet werden:
- Wechselspannungsanlagen und
- Gleichspannungsanlagen.

Allgemein können Versorgungsanlagen Wechsel- oder Gleichspannung führen:

Art der Versorgung	**Bemerkung**
Wechselspannung (AC)	Wechselspannung ermöglicht eine einfachere Spannungs-transformation und die Erzeugung von Drehfeldern in mehrphasigen Netzen.
Gleichspannung (DC)	Meist in örtlichen Anlagen eingesetzt. Beispiele sind Anlagen mit Gleichspannungsquellen (photovoltaische Zellen, Akkumulatoren). Selten in größeren Netzen benutzt.

Symbole:

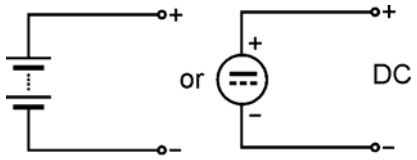


Bild 2: *Gleichspannungsquelle*

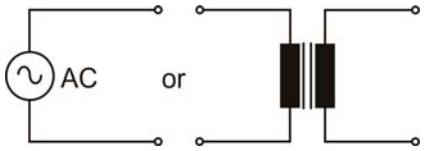


Bild 3: *Wechselspannungsquelle*

2.2 Elektrischen Anlagentypen nach Erdungssystem

Jede Anlage muss geeignete Schutzmaßnahmen gegenüber im Fehlerfall auftretenden zu hohen Ableitströmen und Berührungsspannungen enthalten. Jedes Stromversorgungsnetz mit Nennspannungen über 50 V muss eine Erdungsvorrichtung enthalten.
Die Norm IEC 60364-1 definiert und beschreibt verschiedene Anlagentypen nach Erdungsvorrichtung.
Bedeutung der Bezeichnung:
Der erste Buchstabe bezeichnet die Erdungsvorrichtung an der Stromquelle:

T Direkte Erdung an der Stromquelle (lateinisch: terra = Erde).
I Die Phasenleiter sind von Erde isoliert oder über eine Impedanz mit Erde verbunden.

Der zweite Buchstabe bezeichnet die Art der Erdung von frei liegenden leitenden Teilen der Anlage.

T Direkte Erdung der Anlage über Erdelektrode.
N Frei liegende leitende Teile sind (über PE- oder PEN-Leiter) mit der Erdung an der Stromquelle verbunden.

2.2.1 TT-Netz

Das TT-Netz ist an der Versorgungsquelle geerdet. Berührbare leitende Teile sind vor Ort (z. B. am Eintrittspunkt der Anlage) geerdet.

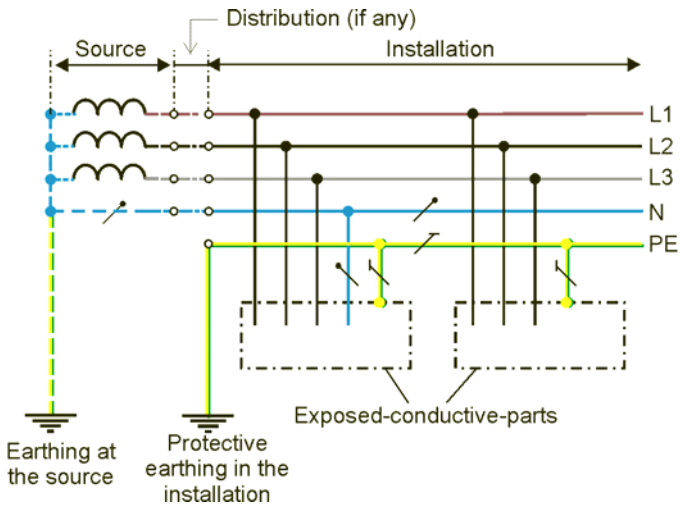


Bild 4: *TT-Netz*

Alle Phasenleiter sind mit Sicherungen geschützt. Das Netz kann einen zusätzlichen RCD-Schutz enthalten. Wenn kein RCD installiert ist, muss der Erdwiderstand niedrig genug sein, um in einem Fehlerfall die Sicherung auszulösen. Der Erdungswiderstand kann von fast 0 Ω bis zu mehreren hundert Ω variieren, je nach der Qualität der Schutzerdung und des Fehlerschutzes der Anlage.

2.2.2 TN-Netz

Ein TN-Netz ist an der Stromquelle und/oder an den Verteilungspunkten geerdet. Frei liegende leitende Teile sind über PE- oder PEN-Leiter mit den Punkten verbunden (geerdet). Der PEN-Leiter dient gleichzeitig als Versorgungs- und Schutzleiter. Alle Phasenleiter sind mit Sicherungen geschützt.

2.2.2.1 TN-S-Netz

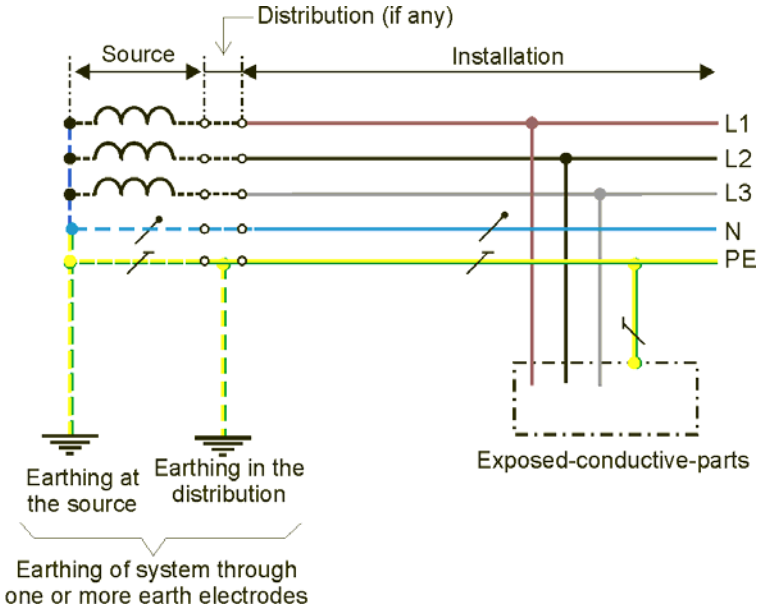


Bild 5: *TN-S-Netz*

In TN-S-Netzen (**S** = separiert) sind der PE- und der N-Leiter (falls vorhanden) voneinander getrennt. Der PE-Leiter dient nur zu Schutzzwecken.
Alle Phasenleiter sind mit Sicherungen geschützt. Das Netz kann einen zusätzlichen RCD-Schutz enthalten. Der Erdungswiderstand ist normalerweise niedrig genug aufgrund des niedrigen Widerstands des Schutzleiters (PE) und guter Erdung an der Quelle und den Verteilungspunkten.

2.2.2.2 TN-C-Netz

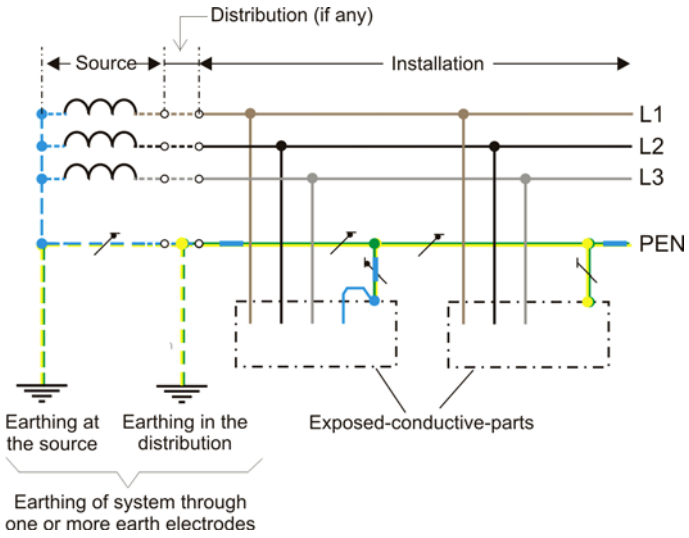


Bild 6: *TN-C-Netz*

Das TN-C-Netz (**C** = common – *gemeinsam*) enthält einen gemeinsamen PEN-Leiter für das gesamte Stromversorgungsnetz. Der PEN-Leiter dient zu Schutzzwecken und führt Lastströme.
Alle Phasenleiter sind mit Sicherungen geschützt. Der Erdungswiderstand ist normalerweise niedrig genug aufgrund des niedrigen Widerstands des PEN-Leiters und guter Erdung an der Quelle und den Verteilungspunkten. Ein zusätzlicher RCD-Schutz wäre nicht wirksam.

2.2.2.3 TN-C-S-Netz

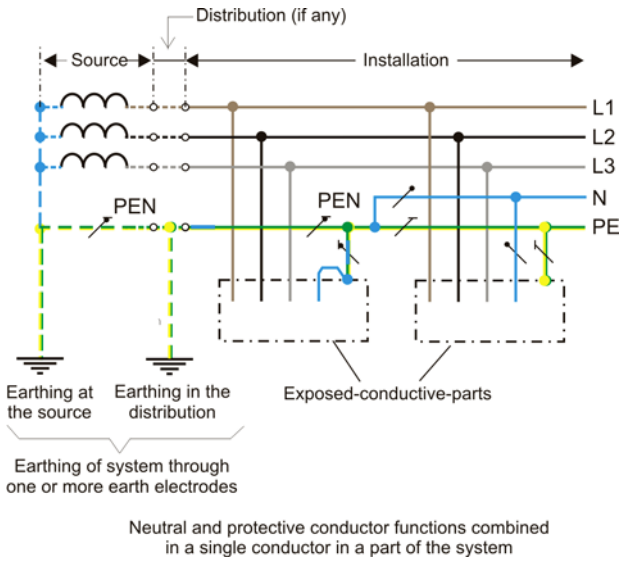


Bild 7: *TN-C-S-Netz*

In TN-C-S-Netzen sind freiliegende leitende Teile teilweise mit dem PE-Leiter und teilweise mit dem PEN-Leiter verbunden.
Alle Phasenleiter sind mit Sicherungen geschützt. Der Erdungswiderstand ist normalerweise niedrig genug aufgrund des niedrigen Widerstands des PEN- und PE-Leiters und guter Erdung an der Quelle und den Verteilungspunkten. Ein zusätzlicher RCD-Schutz kann angewandt werden, wo N- und PE-Leiter voneinander getrennt sind.

2.2.3 IT-Netz

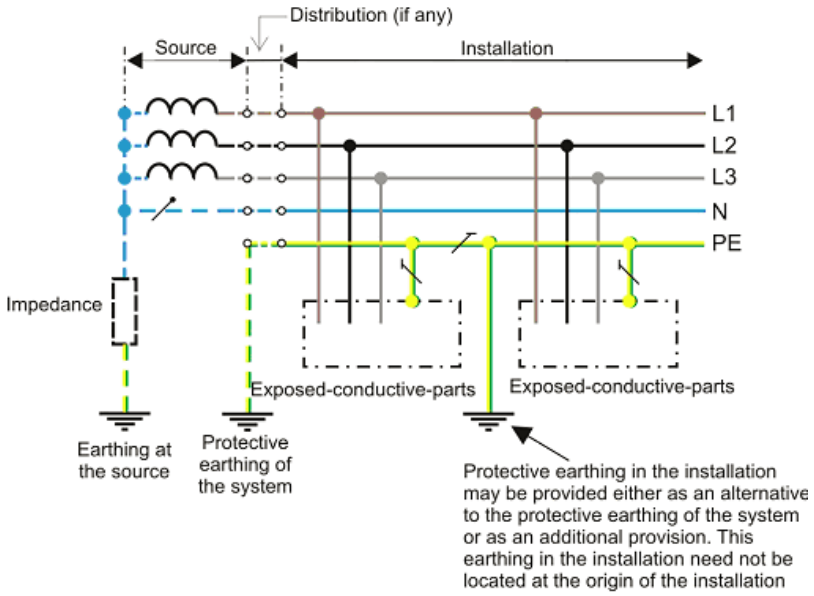

Distribution (if any)
Source
Installation
L1
L2
L3
N
PE
Impedance
Exposed-conductive-parts
Exposed-conductive-parts
Earthing at the source
Protective earthing of the system
Protective earthing in the installation may be provided either as an alternative to the protective earthing of the system or as an additional provision. This earthing in the installation need not be located at the origin of the installation

Bild 8: *IT-Netz*

Beim IT-Netz ist der Versorgungsteil der Energiequelle von der Erde getrennt oder über eine ausreichend hohe Impedanz an der Quelle geerdet. Frei liegende leitende Teile sind eigenständig geerdet oder mit dem PE-Leiter verbunden und örtlich am Eintritt in die Anlage geerdet.
Das IT-Netz wird oft in medizinischen Räumen, in der chemischen Industrie, in explosionsgefährdeten Bereichen usw. benutzt. Der Hauptvorteil ist, dass das Netz im Falle des ersten Fehlers (zwischen Phase und Erde) noch sicher arbeitet.
Alle Phasenleiter sind mit Sicherungen geschützt. In IT-Netzen werden oft Isolationswächter (IMDs) und Ableitstromwächter (RCMs) installiert, um Isolationsfehler zu erkennen und einen Alarm auszulösen, bevor die Versorgung abgeschaltet werden muss. RCDs sind nur teilweise anwendbar.

Weitere Informationen über IT-Anlagen finden Sie im METREL-Handbuch
Measurements on IT power installation (Messungen an IT-Stromversorgungsanlagen).

2.2.4 RLV-Netz

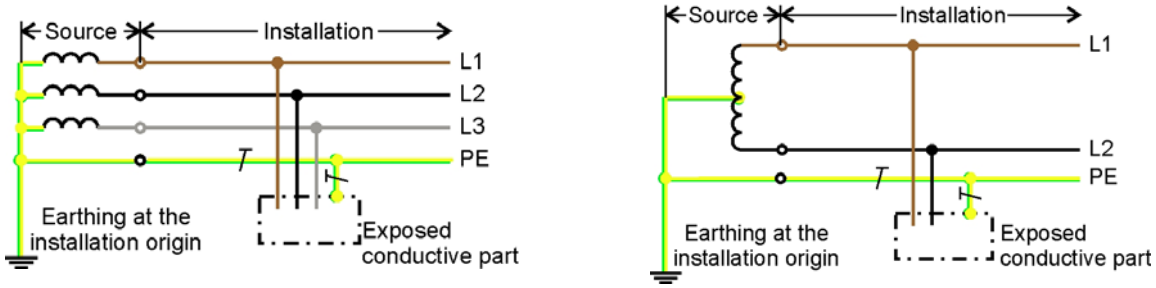


Bild 9: *3-Phasen- und 2-Phasen-RLV-Netze*

In einem RLV-Netz (reduced low voltage – *reduzierte Niederspannung – BS 4363*) wird der Schutzleiter in die Mitte der Quelle gesetzt. Dies bewirkt, dass in einem 110-V-RLV-Netz der Wert einer beliebigen Spannung L - PE nahe der Sicherheitsgrenze der Berührungsspannung liegt (63,5 V in einem 3-Phasen- und 55 V in einem 2-Phasennetz). Allgemein kann das RLV-Netz als sehr sicher angesehen werden.
Alle Phasenleiter sind mit Sicherungen geschützt. Das RLV-Netz kann einen zusätzlichen RCD-Schutz enthalten.

2.3 Elektrische Anlagetypen nach der Anzahl der Phasen

Installationsnetze haben gewöhnlich 1, 2 oder 3 Phasenleiter.
Das 1-Phasen-Netz ist einfacher und weniger anspruchsvoll (Materialien, Bauteile).
Das 3-Phasen-Wechselspannungsnetz (Drehstrom) ist das bequemste System für die Versorgung leistungsstarker rotierender Maschinen und großer Lasten. (Die Leistung teilt sich auf mehrere Leiter auf; es wird ein Drehfeld erzeugt.)
Die nachstehenden Bilder zeigen einige der gebräuchlichsten 1-, 2- und 3-Phasen-Netze.

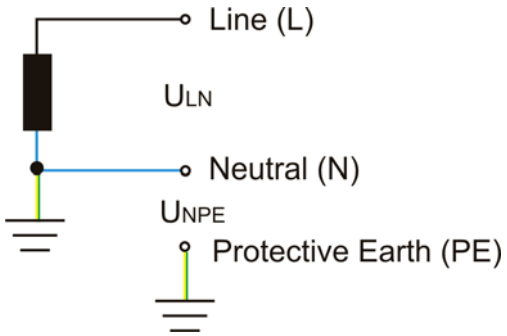


Bild 10: *Standard-Einphasen-Wechselspannungsnetz*

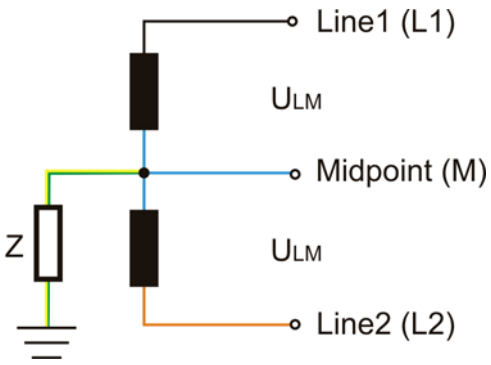


Bild 11: *2-Phasen-Wechselspannungsnetz (Beispiel nach dem IT-Typ)*

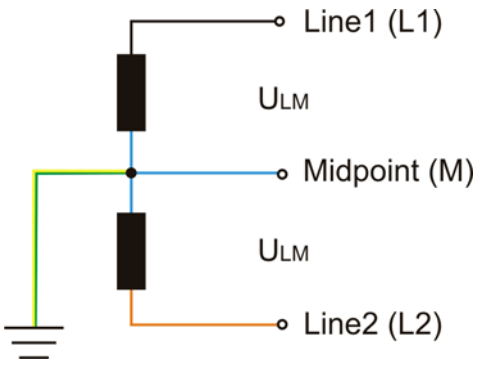


Bild 12: *2-Phasen-Wechselspannungsnetz (Beispiel nach dem RLV-Typ)*

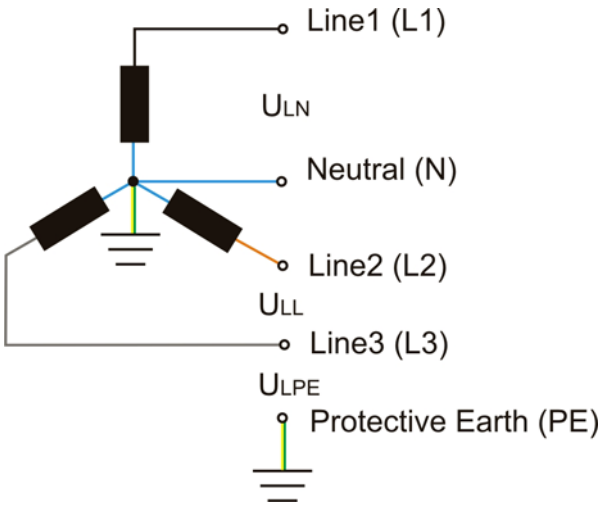


Bild 13: *3-Phasen-Sternnetz*

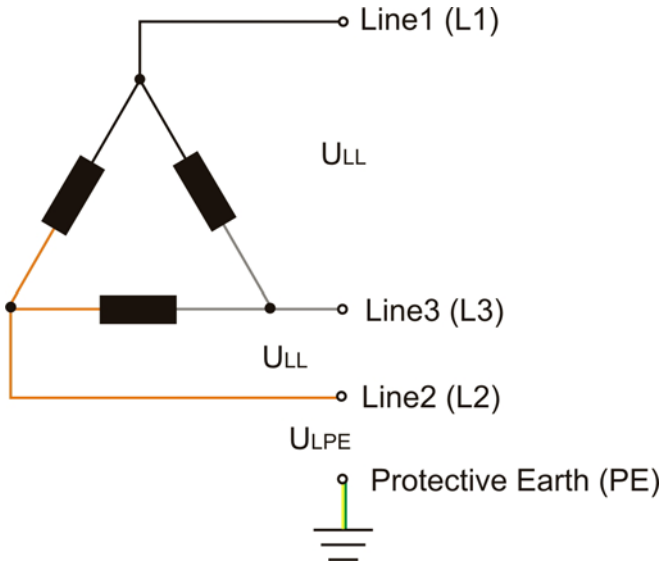
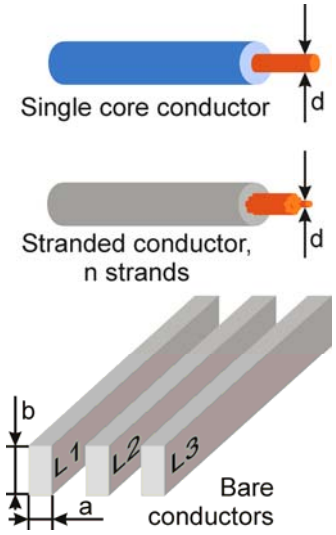


Bild 14: *3-Phasen-Dreiecksanschluss*

2.4 Bestandteile elektrischer Anlagen

Montagebestandteile

Leiter



Leiter bestehen üblicherweise aus Kupfer wegen seines geringen spezifischen Widerstands.
Der Hauptparameter eines Leiters ist der Nennstrom. Er hängt von der Größe des Leiters und dem Anwendungsfall ab.
Die maximale Stromdichte für Kupferleiter beträgt 10 A/mm^2. Wenn der Leiter keinen Platz zum Kühlen hat oder die Ströme ≥100 A betragen, muss eine verringerte Dichte von 1 A/mm^2 berücksichtigt werden.
Allgemein muss der Schutzleiter demselben Strom standhalten wie die stromführenden Leiter.
Querschnitt typischer Leiterformen:

Einzeldraht	Litze	Blank
$d^2pi/4$	$nd^2pi/4$	ab

n....Anzahl der Einzelleiter in der Litze.

Zu Informationen über Beziehungen zwischen Nennstrom und Querschnitten bei PVC-isoliertem Einzeldrahtkabel siehe Anhang C.

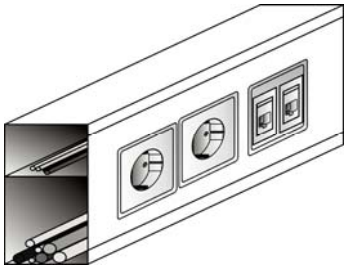
Schutzleitersammelschiene

Die Schutzleitersammelschiene ist zum Anschluss von Schutzleitern (PE) bestimmt. Sie ist gelb/grün markiert.

Nullleitersammelschiene

Die Nullleiterschiene ist zum Anschluss von N-Leitern bestimmt. Sie ist blau markiert.

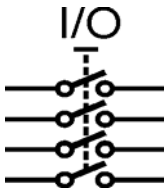
Kabelkanal



Halterung und Schutz für Installationsleiter. Er besteht aus Kunststoff oder Metall. Metallkanäle müssen mit der Schutzerde verbunden werden. Signal-, Steuerungs- oder Kommunikationsleitungen müssen einen getrennten Kabelkanal haben, um Übersprechen von Versorgungsleitern zu vermeiden.

Trennbauteile

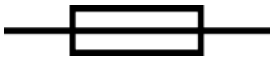
Trennschalter (Schalter)



Bauteil zum Abtrennen der gesamten oder eines Teils der Anlage von der Versorgung. Er trennt gewöhnlich alle Phasen- und Nullleiter ab. Der Trennschalter muss deutlich gekennzeichnet und leicht zugänglich sein.
Parameter sind:

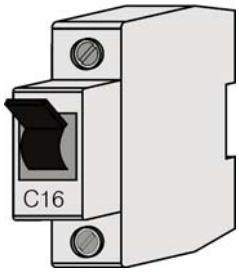
- *Nennschaltspannung:* Maximale Arbeitsspannung des Trennschalters.
- *Nennschaltstrom:* Maximaler Strom des Trennschalters.

Sicherungen



Schmelzsicherungen

Sicherungsautomaten

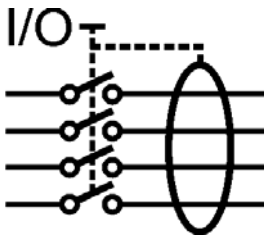


Ein Bauteil, das für den Überstromschutz der Anlage vorgesehen ist.
Sicherungen können vom schmelzenden oder vom elektromagnetischen (automatischen) Typ sein.
Wichtige Sicherungsparameter sind:

- *Nennstrom* I_N: maximaler Dauerstrom, der fließen könnte, ohne dass die Sicherung auslöst.
- *Nennspannung* U_N: maximale Spannung, der die Sicherung standhält. Falls die Nennspannung niedriger als die angelegte Spannung ist, könnte die Sicherung infolge eines Spannungsüberschlags nach dem Trennen weiter leiten.
- *Abschaltstrom* I_A: minimaler Strom, der zum Abschalten der Sicherung innerhalb einer geforderten Zeit erforderlich ist.
- *Schaltvermögen:* maximaler Strom, bei dem die Sicherung arbeitet. Wenn der Strom durch die Sicherung höher ist, könnte es sein, dass die Sicherung nach dem Abschalten weiter leitet, weil der Lichtbogen nicht gelöscht werden kann, besonders bei induktiven Lastströmen.

Es ist sehr wichtig, die richtige Sicherung zu wählen und im geschützten Stromkreis zu installieren.
Unterdimensionierte Sicherungen führen während des Normalbetriebs zu häufigen Unterbrechungen.
Überdimensionierte Sicherungen unterbrechen die Versorgung wahrscheinlich im Fehlerfall nicht korrekt. Das kann zu schwerwiegenden Folgen führen.

RCD

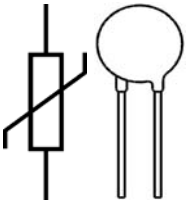
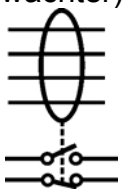


Ein Fehlerstromschutzschalter (RCD) löst aus, wenn die Differenz der durchfließenden Ströme $I_{\Delta N}$ übersteigt. Er besteht aus einem Differenzstromwächter, der mit einem Trennschalter verbunden ist.
Hauptparameter sind:

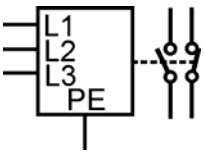
- *Nenn-Fehlerstrom* ($I_{\Delta N}$): die Nennstromdifferenz, die den eingebauten Trennschalter auslöst, um den geschützten Kreis abzuschalten. Der RCD löst aus, wenn der Fehlerstrom zwischen $I_{\Delta N}/2$ und $I_{\Delta N}$ liegt.
- *Kurvenform des Fehlerstroms:* die Form des Fehlerstroms, für die der RCD empfindlich ist. Typen sind AC, A und B.
- *Zeitverzögerung (selektiv)*: Standard-RCDs

	sind unverzögert. Um zeitverzögerte (selektive) Typen auszulösen, muss der Fehlerstrom längere Zeit durch den RCD fließen. Dadurch kann man empfindlichere RCDs in Unterstromkreisen der Anlage (z. B. Badezimmer) installieren, ohne dass sie einander beeinflussen. - *Nennschaltspannung:* Maximale Arbeitsspannung, die an den RCD angelegt werden darf. - *Nennschaltstrom:* maximaler Strom durch den RCD (beliebiger Leiter). Hinweis: Weitere Informationen zu RCDs und ähnlichen Bauteilen finden Sie im Anhang A.

Andere Schutzbauteile

Überspannungsschutzbauteile Varistor  Gasentladungslampe, Überspannungsableiter 	Überspannungsschutzbauteile können die Energie kurzer Überspannungen (Ausschalten induktiver Lasten, Blitz) absorbieren. Sie sollen die Anlage sowie elektronische Geräte schützen. Hauptparameter sind: - *Nennspannung:* Die maximale Dauerspannung, der das Überspannungsschutzbauteil standhalten kann, ohne zu leiten. Die meisten Hersteller kennzeichnen die Bauteile mit dem Effektivwert, aber einige kennzeichnen sie mit der Prüfgleichspannung. Die Beziehung zwischen Gleichspannungs- und Effektivwert ist: $U_{eff} = U_{DC} / 1{,}6$. - *Nennenergieaufnahme oder Maximalstrom:* Der höchste Wert der Energie während einer Überspannungsspitze, die das Bauteil bei seltener Wiederholungsrate absorbieren kann. Das Bauteil wird beschädigt, falls der Strom oder die absorbierte Energie während der Überspannungsspitze, z. B. eines Blitzes, höher sind als die Auslegungswerte. Das Bauteil ist nur wirksam bei ausreichenden Leitungs-/Schleifenimpedanzen. Bei niedrigerer Leitungs-/Schleifenimpedanz müssen Bauteile mit höherer Energieaufnahme oder höherem Strom gewählt werden.
RCM (Ableitstromwächter) 	Ein Ableitstromwächter überwacht Restströme. Er besteht aus einer Differenzstromüberwachung (ähnlich der in einem RCD) und einer Alarmanzeige. Der Alarm wird ausgelöst, wenn der Reststrom die voreingestellte Schwelle überschreitet. Hauptparameter sind: - *Schwellfehlerstrom (I_{Δ}):* die Stromdifferenz, die den eingebauten Alarm auslöst. Üblicherweise einstellbar (*$I_{\Delta N}$-Wert, Verzögerung)* - *Nennstrom und -spannung:* wie bei RCDs.

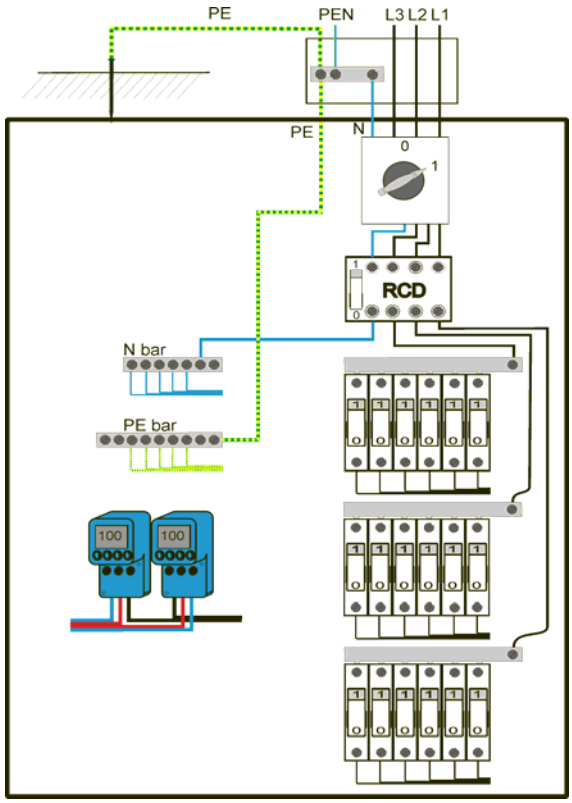
IMD (Isolationswächter)



Ein Isolationswächter überwacht den Isolationswiderstand zwischen Versorgungsleitern und Schutzerde. Er besteht aus einem Isolationsmessgerät und einer Alarmanzeige. Der Alarm wird ausgelöst, wenn der Isolationswiderstand die voreingestellte Schwelle unterschreitet.
Hauptparameter sind:

- *Schwellenisolationswiderstand:* Minimaler Isolationswiderstand (Impedanz), der den eingebauten Alarm auslöst. Er ist üblicherweise voreinstellbar.
- *Nennspannung:* Maximale Arbeitsspannung, die an den IMD angelegt werden darf.

Schalttafeln, Schalteinrichtungen

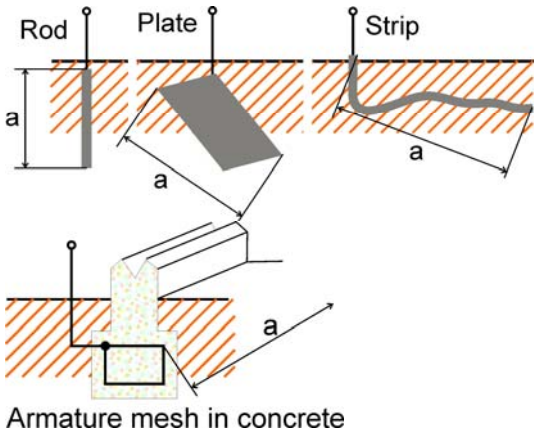


Verteilertafel
Eine Tafel, an der der ankommende Versorgungskreis über die Gebäudeabschnitte verteilt wird. Sie enthält Anzeigen, Trennschalter, RCDs, Sicherungen usw.

Sicherungskasten
Eine Tafel, die hauptsächlich Sicherungen zum selektiven Schutz von Unterstromkreisen enthält.

Schalttafel, Schalteinrichtung
Ähnlich wie die Verteilertafel; enthält auch Geräte zu Steuer- und Überwachungszwecken.

Erdungsbestandteile

Erdelektrode  Armature mesh in concrete	In den Boden eingebrachtes Metallteil wie zum Beispiel ein Blech, ein Stab oder ein Streifen, vorgesehen zum Erden der Spannungsquelle, eines Verteilungspunkts, der Anlage oder eines freiliegenden Metallteils. Erdungselektroden zur Herstellung von Haupterdungen, Blitzschutzsystemen. Der Parameter a stellt das maximale Maß der Elektrode dar und wird für Berechnungen und Messungen benutzt.

Sonstige

Elektrizitätszähler 	Einrichtung zum Messen und Registrieren der verbrauchten elektrischen Energie. Zum Messen des Energieverbrauchs müssen alle Phasenleiter angeschlossen sein. Der Zähler kann zusätzliche Eingänge zum Anschluss von Steuereinrichtungen besitzen.

2.5 Kennzeichnung von Installationsbauteilen

Kennzeichnung von Leitern
Die Tabellen 1, 2, 3 und 4 zeigen Kennzeichnungen von Leitern sowie Abkürzungen, wie sie in IEC-Normen festgelegt sind.

Bezeichnete Leiter	**Kennzeichnung der Geräteklemme**	**Kennzeichnung durch grafisches Symbol zur Verwendung am Gerät** [b]
Wechselspannungsleiter		
Phase 1 (L1)	U	
Phase 2 (L2)	V [a]	
Phase 3 (L3)	W [a]	
Mittelleiter (M)	M	
Nullleiter (N)	N	
Gleichspannungsleiter		
Positiv (L+)	+	
Negativ (L-)	-	
Schutzleiter (PE)	PE	
PEN-Leiter (PEN)	PEN	
PEL-Leiter (PEL)	PEL	
PEM-Leiter (PEM)	PEM	
Schutzpotentialausgleichsleiter (PB)[C]	PB	
Geerdet (PBE)	PBE	
Ungeerdet (PBU)	PBU	
Funktionserdungsleiter (FE)[d]	FE	
Funktionspotentialausgleichsleiter (FB)	FB	

Hinweise:
a Nur notwendig bei Netzen mit mehr als einer Phase.
b Die gezeigten grafischen Symbole entsprechen den Symbolen in IEC 60417.
c Ein Schutzpotentialausgleichsleiter ist in den meisten Fällen ein geerdeter Schutzpotentialausgleichleiter. In diesen Fällen ist es nicht notwendig, diese mit PBE zu bezeichnen. Wo es sowohl einen geerdeten Schutzpotentialausgleichsleiter als auch einen ungeerdeten Schutzpotentialausgleichsleiter gibt, muss eine klare Unterscheidung zwischen ihnen hergestellt werden, vorzugsweise durch Anbringen der Bezeichnungen PBE und PBU.
d Weder die Bezeichnung FE noch das grafische Symbol 5018 aus IEC 60417 dürfen für Leiter oder Anschlüsse verwendet werden, die eine Schutzfunktion haben.

Tabelle 1: *Kennzeichnungen auf Leitern und Betriebsmitteln (IEC 60445**)***

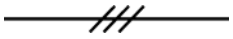
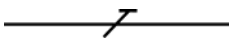
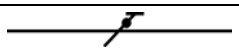
	Gruppe von Phasenleitern (L1..L3)
	Nullleiter (N), Mittelleiter (M)
	Schutzerdeleiter (PE)
	Kombinierter Schutzerde- und Nullleiter (PEN)

Tabelle 2: *Kennzeichnungen von Leitern in Installationsplänen*

Die Kennzeichnungen von Drehstromleitern wurden im Laufe der Zeit geändert. Die folgende Tabelle führt die alten Kennzeichnungen im Vergleich zu den aktuellen auf.

Versorgungsleiter	
Aktuell	Alt
L1	R
L2	S
L3	T

Leiter in Betriebsmitteln			
Einzel-Drehstromanschlüsse		Mehrere Drehstromanschlüsse	
Aktuell	Alt	Aktuell	Alt
U	U	U1	U
V	V	V1	V
W	W	W1	W
		U2	X
		V2	Y
		W2	Z

Tabelle 3: *Drehstromleiter (alte und neue Kennzeichnungen)*

Leitertyp	Kennzeichnung	Farbe
Phase 1	L1	Schwarz oder braun oder grau
Phase 2	L2	
Phase 3	L3	
Nullleiter	N	Blau
Mittelleiter	M	
Schutzleiter	**PE**	**Grün/gelb***
Schutz- + Nullleiter	PEN	Grün/gelb mit blauen Kennzeichnungen an den Anschlüssen oder blau mit grün/gelben Kennzeichnungen an den Anschlüssen.
(+)-Leitung	L+	Die Norm bevorzugt keine Farben, aber meistens zeigt Rot L+ und Blau oder Schwarz L- an.
(-)-Leitung	L-	

Tabelle 4: *Leiterfarben (IEC 60445**)***

Hinweis:
Die grün-gelbe Farbe ist nur für Schutzerdleiter bestimmt und darf nicht für andere Zwecke benutzt werden.

3 Vorschriften und Normen

3.1 Richtlinien, Vorschriften

Im Allgemeinen sind elektrische Anlagen durch Vorschriften gut abgedeckt (Entwurf, Prüfung, Sicherheit usw.). In den meisten Ländern wird das gründliche und gut dokumentierte Prüfen aller elektrischen Betriebsmittel während ihrer gesamten Lebenszeit gesetzlich geregelt.
Die wichtigsten Vorschriften, die das Gebiet der elektrischen Anlagen regeln, sind:

- EU-Richtlinien; sie sind im gesamten Gebiet der EU bindend.
- Nationale Gesetze, Vorschriften, Leitlinien (z. B. Arbeitsschutzgesetze, Verfahrensregeln)
- Technische Normen, Berichte, Artikel (IEC, IEEE, Weißbücher, die in Vorschriften aufgenommen sind). Normen müssen berücksichtigt werden und werden bindend, wenn sie in Gesetzen und Vorschriften zitiert werden.

Eine detaillierte Beschreibung nationaler Vorschriften kann im Rahmen dieses Leitfadens nicht bereitgestellt werden.

3.2 Normen

Normen sind technische Dokumente, die besondere technische Felder oder Produkte abdecken (z. B. bezüglich Entwurf, Wartung, Prüfung und Überprüfung). Sie sind sehr wichtig, da sie

- weltweit ein einheitliches und vergleichbares System sicherstellen,
- den anerkannten Stand der Technik widerspiegeln.

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Normen aufgeführt, die sich auf die Sicherheit und die Prüfung elektrischer Anlagen beziehen.

Normen werden weltweit von verschiedenen Normungsorganisationen erstellt, z. B.: IEC, IEEE, CENELEC, CEN, ISO, IEE, ETSI, DIN, VDE, JST, BSI, AST, ANSI usw.
IEC (International Electrotechnical Committee) ist die größte internationale Normungsorganisation für Elektrotechnik. Seine technischen Ausschüsse und Arbeitsgruppen begleiten ständig bestimmte technische Felder und erarbeiten neue (IEC-) Normen oder Ausgaben.
Neben internationalen Normungsorganisationen gibt es nationale Normungsorganisationen oder -institute. Sie übernehmen internationale Normen auf nationale Ebene. Manchmal erstellen sie auch ihre eigenen Normen, wenn die internationalen Normen nicht als ausreichend angesehen werden.
CENELEC ist eine Organisation für die Harmonisierung elektrotechnischer Normen der EU-Länder untereinander. Nachdem eine IEC-Norm auf europäischer Ebene harmonisiert wurde, wird sie als EN-Norm mit derselben Nummerierung herausgegeben.

Tabelle 5 zeigt die wichtigsten Normen, die sich auf elektrische Anlagen beziehen.

Hinweis:
Örtliche Normen beruhen meist auf IEC-Normen; deshalb werden Normen in diesem Leitfaden als IEC angeführt.

3.2.1 Niederspannungsanlagen

Generische IEC-Normen

IEC 60364-1	Errichten von Niederspannungsanlagen Teil 1 (DIN IEC: Teil 100): Allgemeine Grundsätze, Bestimmungen allgemeiner Merkmale, Begriffe
Reihe IEC 60364-4	Errichten von Niederspannungsanlagen Teil 4: Schutzmaßnahmen
	Abschnitt 41: Schutz gegen elektrischen Schlag
	Abschnitt 42: Schutz gegen thermische Auswirkungen
	Abschnitt 43: Schutz bei Überstrom
	Abschnitt 44: Schutz gegen Überspannungen und Maßnahmen gegen elektromagnetische Einflüsse
Reihe IEC 60364-5	Errichten von Niederspannungsanlagen Teil 5: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel
	Abschnitt 51: Allgemeine Bestimmungen
	Abschnitt 52: Kabel- und Leitungsanlagen
	Abschnitt 53: Trennen, Schalten und Steuern
	Abschnitt 54: Erdungsanlagen, Schutzleiter und Schutzpotentialausgleichsleiter
	Abschnitt 55: Andere Betriebsmittel
	Abschnitt 56: Elektrische Anlagen für Sicherheitszwecke
Reihe IEC 60364-7	Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art
Reihe IEC 62305	Blitzschutz
IEC 61201	Schwellwerte für Berührungsspannung zum Schutz gegen elektrischen Schlag

Tabelle 5: *Generische IEC-Normen für elektrische Anlagen*

Generische EU- und nationale Normen

Reihe HD 384	Harmonisierungsdokumente bezüglich der Anwendung einiger Normen der Reihe IEC 60364.
Reihe DIN/VDE 0100	Mit der Reihe IEC 60364 harmonisierte deutsche Normen für elektrische Anlagen
Reihe BS 7671	Mit der Reihe IEC 60364 harmonisierte britische Normen für elektrische Anlagen
AS/NZS 3018	Australische / neuseeländische Norm für elektrische Anlagen – Wohnhausanlagen
IEEE-Norm 80	IEEE-Leitfaden für die Sicherheit bei der Erdung von Umspannwerken (USA)
IEEE-Norm 142	IEEE-empfohlene Verfahrensregeln zum Erden von industriellen und gewerblichen Netzen (USA)
EN 50110-1	Betrieb von elektrischen Anlagen
EN 50110-2	Betrieb von elektrischen Anlagen (nationale Zusätze)

Tabelle 6: *Generische Normen für elektrische Anlagen*

3.2.2 Bestandteile in elektrischen Anlagen

IEC-Normen

IEC/TR 60755	Allgemeine Anforderungen für fehlerstrombetriebene Schutzgeräte
Reihe IEC 61008	Fehlerstrom-/Differenzstrom-Schutzschalter ohne eingebauten Überstromschutz (RCCBs) für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen
Reihe IEC 61009	Fehlerstrom-/Differenzstrom-Schutzschalter mit eingebautem Überstromschutz (RCCOs) für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen
Reihe IEC 60269	Niederspannungssicherungen
IEC 60445	Grund- und Sicherheitsregeln für die Mensch-Maschine-Schnittstelle – Kennzeichnung der Anschlüsse elektrischer Betriebsmittel und einiger bestimmter Leiter
IEC 60446	Grund- und Sicherheitsregeln für die Mensch-Maschine-Schnittstelle – Kennzeichnung von Leitern durch Farben oder alphanumerische Zeichen
IEC/TR 61818	Leitfaden zur Anwendung von Niederspannungssicherungen

Tabelle 7: *IEC-Normen für Bestandteile in elektrischen Anlagen*

3.2.3 Prüfen und Überwachen der Sicherheit elektrischer Anlagen

IEC-Norm

IEC 60364-6	Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 6: Prüfungen

Tabelle 8: *IEC-Norm für das Prüfen, Überprüfen und Überwachen elektrischer Anlagen*

EU- und nationale Normen

AS/NZS 3017	Australische / neuseeländische Norm: Elektrische Anlagen – Prüf- und Inspektionsleitfaden
ES 59009	Inspektion und Prüfung von elektrischen Installationen in Wohnungen (CENELEC)
IEEE-Norm 81	IEEE-Richtlinie für die Messung des spezifischen Erdwiderstands, der Impedanz gegen Erde und des Erdoberflächenpotentials einer Erdungsanlage – Teil 1: Normale Messungen

Tabelle 9: *Normen für das Prüfen, Überwachen und Überprüfen elektrischer Anlagen*

Prüf- und Messgeräte

Reihe IEC 61557	Elektrische Sicherheit in Niederspannungsnetzen bis AC 1000 V und DC 1500 V – Geräte zum Prüfen, Messen oder Überwachen von Schutzmaßnahmen

Tabelle 10: *Prüf- und Messgeräte*

In Kapitel 4.3.1 finden Sie weitere Informationen über die Normen der Reihe IEC 61557.

4 Sicherheit elektrischer Anlagen

4.1 Ersatzschaltbilder elektrischer Anlagen

Bild 15 zeigt ein detailliertes Ersatzschaltbild einer elektrischen Anlage.
Die Bauteile (Widerstände, Kondensatoren) stellen dar:

- Wichtige sicherheitsrelevante Parameter der Anlage.
- Parameter, die während der Sicherheitsüberprüfung gemessen werden.

Die Bedeutung der Bauteile ist in Tabelle 11 beschrieben.

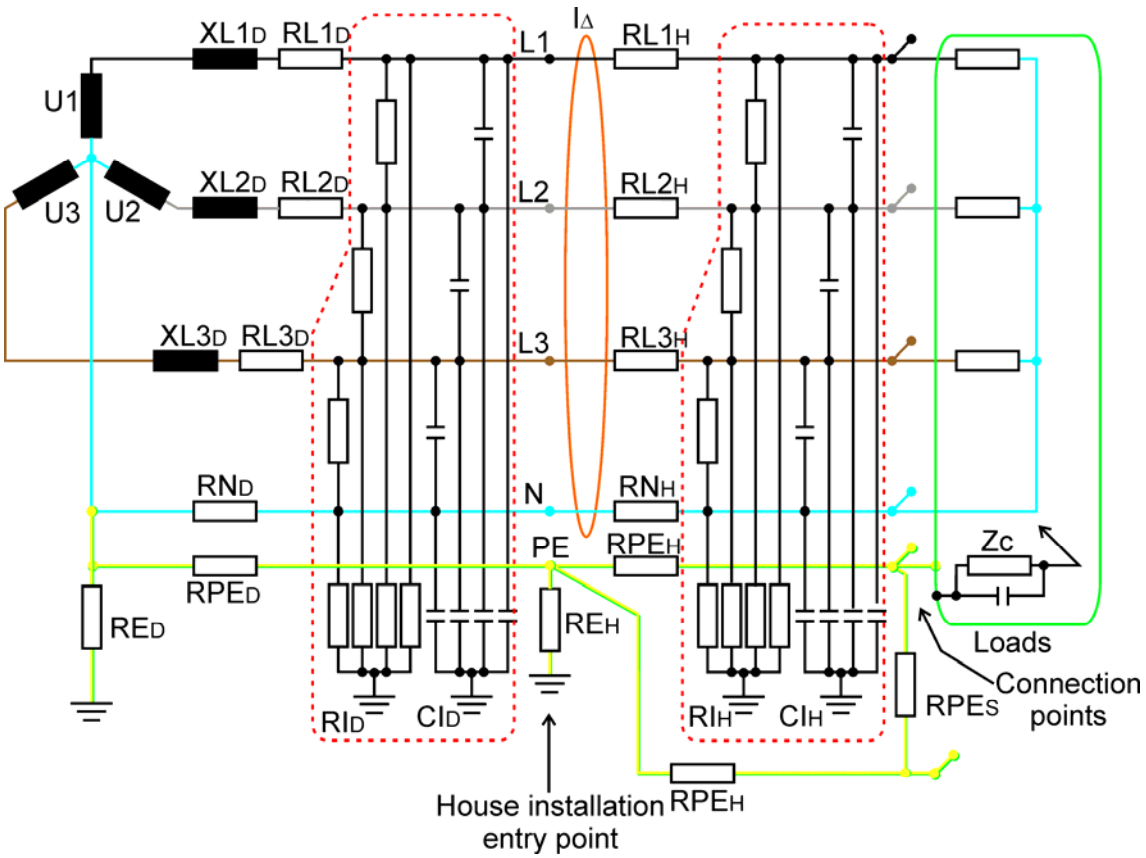


Bild 15: *Ersatzschaltbild einer elektrischen Niederspannungsanlage*

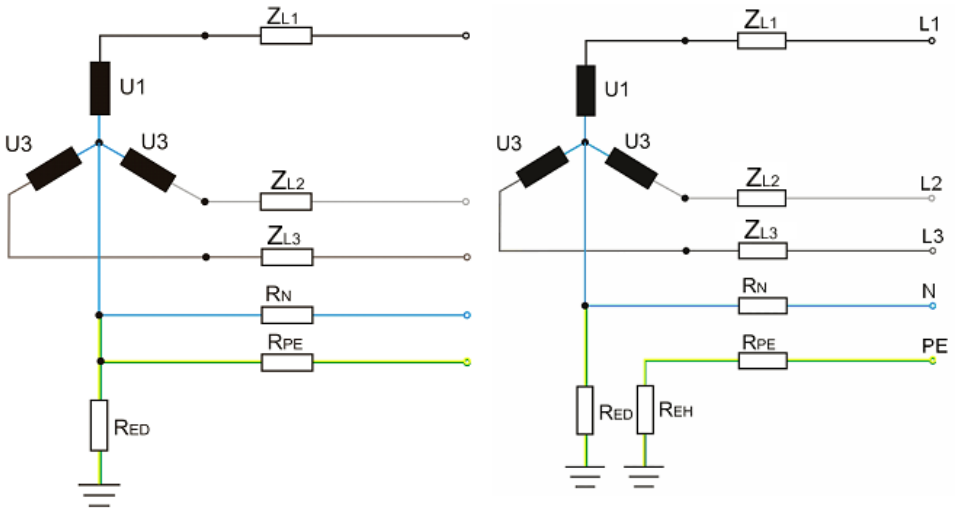
Versorgungsteil (Verteilungsteil)	
U1, U2, U3	Netzspannung (Quelle)
XL1D, XL2D, XL3D RL1D, RL2D, RL3D	Impedanz am Eingang (Eintrittspunkt) der Hausanlage Die Impedanzen bestehen aus: - den Widerständen der Verteilungsverdrahtung; - dem Quellwiderstand (Impedanz des Verteilungstransformators, transformierte Impedanzen des gesamten Netzes).
RND	Widerstand der Nullleiterverdrahtung des Verteilungsnetzes.
RPED	Widerstand der Schutzleiterverdrahtung der Verteilung.
RED	Erdungswiderstand am Eingang der Verteilung.

R_{ID}, C_{ID}	Impedanz der angeschlossenen Einrichtung zwischen je zwei Drähten und von jedem Draht nach Erde auf der Verteilungsseite.
Anlagenteil (Abschlussteil)	
R_{L1H}, R_{L2H}, R_{L3H}	Widerstände der Phasenleiter der Anlage.
R_{NH}	Widerstände der Nullleiter der Anlage.
R_{PEH}	Widerstand der Schutzleiterverdrahtung der Anlage.
R_{EH}	Erdungswiderstand der Anlage.
R_{PES}	Widerstand des zusätzlichen Potentialausgleichs.
R_{IH}, C_{IH}	Isolationswiderstände und -kapazitäten zwischen jeweils zwei Drähten der Hausanlage und von jedem Draht zur Erde einschließlich der Kapazitäten reaktiver Energiekompensationssysteme.
I_{Δ}	Differentieller Ableitstrom am Hauseintrittspunkt.
R1L, R2L, R3L	Lastwiderstände.
Zc	Isolationsimpedanzen in Verbrauchern, einschließlich Isolationswiderständen und -kapazitäten, EMV-Bauteilen usw.
Verbindungspunkte	Allgemein sind dies Wandsteckdosen und andere Anschlüsse der Anlage.

Tabelle 11: *Legende der Bauteile*

Bild 16 zeigt vereinfachte TN- und TT-Ersatzschaltbilder von elektrischen Anlagen, die häufiger verwendet werden:

- X_{LD}, R_{LD}, R_{LH} sind zu ZL zusammengefasst.
- R_{ND}, R_{NH} sind zu RN zusammengefasst.
- R_{PED}, R_{PEH} sind zu RPE zusammengefasst.
- R_{ID}, C_{ID}, R_{IH}, C_{IH} sind nicht dargestellt.



TN-Netz *TT-Netz*

Bild 16: *Standard-Ersatzschaltbild von elektrischen Niederspannungsanlagen* ***(****TN/TT****)***

In diesem Kapitel angegebene Beschreibungen und Kennzeichnungen werden später in diesem Dokument verwendet.

4.2 Gefahren

Eine elektrische Anlage ist Quelle vieler Gefahren. Die beiden häufigsten Gefahren sind:

- Überhitzung durch zu hohe Wärmeabgabe oder Isolationsfehler an Komponenten der Anlage und elektrischen Geräten.
- Zu hohe Berührungsspannung an berührbaren leitenden Teilen und infolgedessen gefährlicher Strom durch den menschlichen Körper.

Beide Probleme können tödliche Folgen haben! Noch immer geschehen täglich Unfälle!
Tabelle 12 zeigt die Anzahl der Todesfälle durch elektrische Unfälle in Deutschland. Die Zahl ist noch beträchtlich, obwohl Deutschland eines der strengsten Vorschriftenwerke zur Sicherheit besitzt und in den letzten Jahrzehnten bedeutende Fortschritte gemacht hat. Leider sind die Tendenzen in anderen Ländern nicht so positiv, in denen die Vorschriften weniger streng sind oder nicht beachtet werden. Die Kosten und Folgen von Unfällen und Schäden, die durch schadhafte elektrische Anlagen verursacht werden, übersteigen bei weitem die Investitionen in korrekten Entwurf, Wartung und Prüfung.

	Jahr 1950	**Jahr 1975**	**Jahr 2000**
Bevölkerung	10 Mio	60 Mio	80 Mio
Elektrizitätsverbrauch	50 TWh	300 TWh	500 TWh
Anzahl der Todesfälle durch elektrische Unfälle in Deutschland	270	215	100

Tabelle 12: *Todesfälle durch elektrischen Schlag in Deutschland*

(Quelle VDEW Frankfurt)

4.2.1 Gefährliche Körperströme

In diesem Kapitel werden die Gefahren von Fehlerspannungen und von dadurch verursachten Strömen durch den menschlichen Körper beschrieben. Selbst relativ kleine Ströme im Milliamperebereich können gefährlich sein! Auch die Zeit, wie lange der Fehlerstrom durch den Körper fließt, ist wichtig.

Die Grafik in Bild 17 zeigt die Strom/Zeit-Beziehung und den Einfluss auf den menschlichen Körper.
Feld 1: keine Probleme, nur Wahrnehmung
Feld 2: starke Reaktion, Muskelkontraktionen, Schmerz, Schwelle „Kann nicht loslassen“
Feld 3 (möglicherweise tödlich): Atemprobleme, Herzflimmern, Herzlähmung.
Feld 4 (wahrscheinlich tödlich): Verbrennungen an Organen, Herzlähmung.

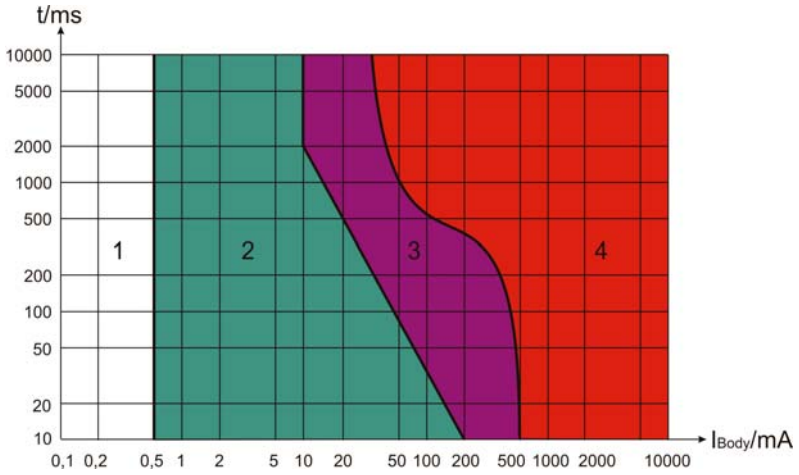


Bild 17: *Gefahrenbeziehungen Körperstrom / Einwirkungszeit*

Die Norm IEC 61140 legt die folgenden maximal erlaubten Beziehungen zwischen Zeit und Berührungsspannung fest:

Maximale Einwirkungszeit	Spannung
>5 s bis ∞	$U_C \leq 50\ V_{AC}$ oder $\leq 120\ V_{DC}$
< 0,4 s	$U_C \leq 115\ V_{AC}$ oder $\leq 180\ V_{DC}$
< 0,2 s	$U_C \leq 200\ V_{AC}$
< 0,04 s	$U_C \leq 250\ V_{AC}$

Tabelle 13: *Fehlerspannung / maximale Zeitdauer*

Es ist erkennbar, dass die Zeitgrenzwerte in Tabelle 13 in enger Beziehung zu den Grenztrennzeiten für Überstrom- und Fehlerstromschutzschalter stehen.

4.2.1.1 Anforderungen zum Trennen durch Schutzeinrichtungen in verschiedenen Anlagennetzen

Das rechtzeitige Trennen der Fehlerspannung ist eine der primären Schutzmaßnahmen in elektrischen Anlagen. Die Gleichungen in diesem Kapitel geben die Bedingungen zum Trennen durch Schutzeinrichtungen (Sicherungen, RCDs) bei typischen Anlagennetzen an.

Phasenschleife (Kurzschluss) (TN, TT, IT, RLV)
$Z_{L1\text{-}N}$, $Z_{L2\text{-}N}$, $Z_{L3\text{-}N}$, $Z_{L1\text{-}L2}$, $Z_{L1\text{-}L3}$, $Z_{L2\text{-}L3}$)

Überstromschutz:

$$Z_{LN} \cdot I_a \leq U_0 \qquad U_0 = U_{LN} \qquad \text{Gl. 1}$$

$$Z_{LxLy} \cdot I_a \leq U_0 \qquad U_0 = U_{LL} \qquad \text{Gl. 2}$$

I_a ..... Strom, der die Trennung von der Versorgung innerhalb der Nennzeit bewirkt.
U_0..... Netzspannung U_{LN} oder U_{LL}.
Z_{LN} ..... Leitungsimpedanz Z_{LN}
Z_{xx} ..... Leitungsimpedanz Z_{L1L2} oder Z_{L1L3} oder Z_{L2L3}.

Fehlerschleife (TT, RLV)
$Z_{L1\text{-}PE}$, $Z_{L2\text{-}LPE}$, $Z_{L3\text{-}LPE,}$ U_{CL})

Überstromschutz:

$$Z_{LPE} \cdot I_a \leq U_0 \qquad \textit{Gl. 3}$$

Schutz gegen zu hohe Berührungsspannung:

$$R_A \cdot I_a \leq U_{BL} \qquad \textit{Gl. 4}$$

I_a ..... Ein Strom, der die Trennung von der Versorgung innerhalb der Nennzeit bewirkt. Wenn ein RCD am Eingang der Anlage installiert ist, dann $I_a = I_{\Delta N}$
*U_0..... Netzspannung nach Erde U_{LPE}**
Z_{LPE}..... Fehlerschleifenimpedanz
U_{BL} ..... Grenzberührungsspannung an freiliegenden leitenden Teilen
R_A ..... Widerstand der Schutzerdung $R_A = R_E + R_{PE}$ *(Erdsondenwiderstand plus Widerstand der Schutzerdverdrahtung)*
in 110V-RLV-Netzen beträgt U_{LPE} 55 V oder 63,5 V.

Fehlerschleife (TN-S)
$Z_{L1\text{-}PE}$, $Z_{L2\text{-}PE}$, $Z_{L3\text{-}PE}$, U_{CL})

Überstromschutz:

$$Z_{LPE} \cdot I_a \leq U_0 \qquad \textit{Gl. 5}$$

Schutz gegen zu hohe Berührungsspannung:

$$R_{PE} \cdot I_a \leq U_{BL} \qquad \textit{Gl. 6}$$

I_a ..... Ein Strom, der die Trennung von der Versorgung innerhalb der Nennzeit bewirkt. Wenn ein RCD am Eingang der Anlage installiert ist, dann $I_a = I_{\Delta N}$
U_0..... Netzspannung nach Erde
Z_{LPE}..... Fehlerschleifenimpedanz
U_{BL} ..... Grenzberührungsspannung an freiliegenden leitenden Teilen
R_{PE}..... Widerstand der Schutzleiterverdrahtung

Fehlerschleife (TN-C)
$Z_{L1\text{-}PE}$, $Z_{L2\text{-}PE}$, $Z_{L3\text{-}PE}$, U_{CL})

Überstromschutz:

$$Z_{LPE} \cdot I_a \leq U_0 \qquad \textit{Gl. 7}$$

Schutz gegen zu hohe Berührungsspannung:

$$R_{PEN} \cdot I_a \leq U_{CL} \qquad \textit{Gl. 8}$$

I_a ..... Ein Strom, der die Trennung von der Versorgung innerhalb der Nennzeit bewirkt. Wenn ein RCD am Eingang der Anlage installiert ist, dann $I_a = I_{\Delta N}$
U_0..... Netzspannung nach Erde
Z_{LPE}..... Fehlerschleifenimpedanz
U_{CL} ..... Grenzberührungsspannung an freiliegenden leitenden Teilen
R_{PEN} ..... Widerstand der PEN-Verdrahtung

Fehlerschleife (TN-C-S)
$Z_{L1\text{-}PE}$, $Z_{L2\text{-}PE}$, $Z_{L3\text{-}PE}$, U_{CL})

Überstromschutz:

$$Z_{LPE} \cdot I_a \leq U_0 \qquad \textit{Gl. 9}$$

Schutz gegen zu hohe Berührungsspannung:

$$(R_{PEN} + R_{PE}) \cdot I_a \leq U_{CL} \qquad \textit{Gl. 10}$$

I_a ..... *Ein Strom, der die Trennung von der Versorgung innerhalb der Nennzeit bewirkt.* Wenn ein RCD am Eingang der Anlage installiert ist, dann $I_a = I_{\Delta N}$
U_0..... *Netzspannung nach Erde*
Z_{LPE}..... *Fehlerschleifenimpedanz*
U_{CL}..... *Grenzberührungsspannung an freiliegenden leitenden Teilen*
R_{PEN}..... *Widerstand der PEN-Verdrahtung (C-Teil)*
R_{PE}..... *Widerstand der Schutzleiterverdrahtung (S-Teil)*

Fehlerschleife (IT)
$Z_{L1\text{-}PE}$, $Z_{L2\text{-}LPE}$, $Z_{L3\text{-}LPE}$, U_{CL})

Schutz gegen zu hohe Berührungsspannung:

$$R_A \cdot I_{SF} \leq U_{CL} \qquad \textit{Gl. 11}$$

I_{SF} ..... *Ein Strom, der im Falle eines ersten Fehlers in den Schutzleiter fließt. Wenn ein RCD eingesetzt ist, dann* $I_{SF} = I_{\Delta N}$
R_A ..... *Widerstand der Schutzerdung* $R_A = R_E + R_{PE}$ *(Erdsondenwiderstand plus Widerstand der Schutzerdverdrahtung)*
U_{CL}..... *Grenzberührungsspannung an freiliegenden leitenden Teilen*

Tabelle 14 listet die Trennzeiten für fertige Stromkreise auf.

Versorgungs-netz	Nennspannungen						
	50 V < U_0 ≤ 120 V	120 V < **U_0 ≤ 230 V**		230 V < U_0 ≤ 400 V		U_0 > 400 V	
	AC	**AC**	DC	AC	DC	AC	DC
	Trennzeiten in [s]						
TN, IT	0,8	**0,4**	5	0,2	0,4	0,1	0,1
TT, IT	0,3	**0,2**	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1

Tabelle 14: *Trennzeiten nach IEC 60364-4-41*

4.2.2 Sonstige Gefahren

In diesem Kapitel werden die häufigsten Gefahrenprobleme in elektrischen Anlagen beschrieben.

4.2.2.1 Fehlerspannung, Berührungsspannung, Fehlerstrom, Körperströme

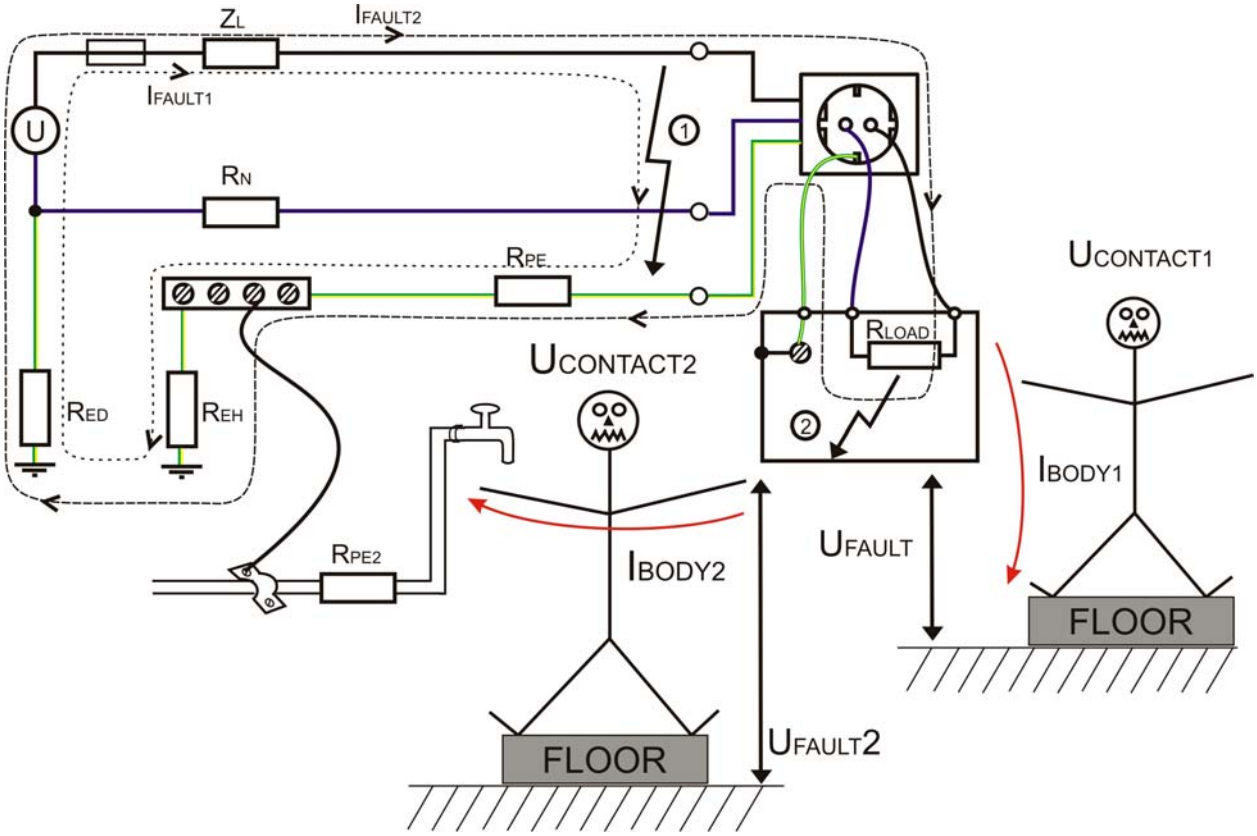


Bild 18: *Ursachen von Fehlerspannungen und -strömen*

Bild 18 zeigt, wie gefährliche Fehlerspannungen entstehen:

- Irgendwo in der Anlage tritt ein Isolationsfehler auf, z. B.:
  - zwischen Phasen- und Schutzleiter 1,
  - innerhalb des angeschlossenen elektrischen Geräts 2.
- Wegen des Fehlers beginnt ein Fehlerstrom zu fließen.
- Wenn der Erdungswiderstand der elektrischen Anlage zu hoch ist (defekte Schutzleiterverdrahtung, ungenügende Erdung usw.
  UND/ODER
  wenn die Schutzeinrichtungen nicht wirksam sind (falscher Typ, falsche Größe usw.),
  kann die Fehlerspannung an freiliegenden leitenden Teilen (Metallgehäuse, Wasserleitungen usw.) den sicheren Pegel überschreiten. (Höhe und Dauer der Spannung müssen in Betracht gezogen werden.)
- Berührt man das leitende Teil mit der Fehlerspannung, fließt ein Teil des Fehlerstroms durch den Körper. Die Größe des Körperstroms hängt von den folgenden Widerständen ab: Fehlerwiderstand, Körperwiderstand, Berührungswiderstand, Fußbodenwiderstand, Erdungswiderstände usw.

Beziehungen:

$$U_{FEHLER} = I_{FEHLER} \cdot \left(R_{PE} + R_{EH}\right), \text{ muss unter 50 V (25 V) liegen} \qquad \text{Gl. 12}$$

$$U_{BERÜHRUNG1} = U_{FEHLER} \cdot \left(\frac{R_{KÖRPER}}{R_{KÖRPER} + R_{BODEN} + R_{BERÜHRUNG}} \right) \qquad \text{Gl. 13}$$

$$U_{BERÜHRUNG2} = U_{FEHLER} \cdot \left(\frac{R_{KÖRPER}}{R_{KÖRPER} + R_{PE2} + R_{BERÜHRUNG}} \right) \qquad \text{Gl. 14}$$

U_{FEHLER}..... Spannung an freiliegendem Metallteil gegen Erde.
$U_{BERÜHRUNG}$ Teil der Fehlerspannung, der der Körper ausgesetzt ist.
I_{FEHLER} ..... Strom durch die Fehlerschleife; ein Teil kann durch den menschlichen Körper fließen.
$I_{KÖRPER}$ ..... Strom durch den Körper.
$R_{KÖRPER}$..... Widerstand des Körpers.
R_{BODEN} ..... Zusätzlicher (Isolations-) Widerstand des Bodens.
$R_{BERÜHRUNG}$ Zusätzlicher (Isolations-) Widerstand von Schuhen, Handschuhen usw.

Hinweis:
Fehler-/Leckströme sind nicht unbedingt Ergebnis eines Fehlers in der Anlage. Leckströme können durch EMV-Filter elektronischer Geräte verursacht werden. Natürlich müssen sie unterhalb vorgegebener Sicherheitspegel bleiben; andernfalls können sie zum Auslösen von RCDs und zu anderen Störungen führen.

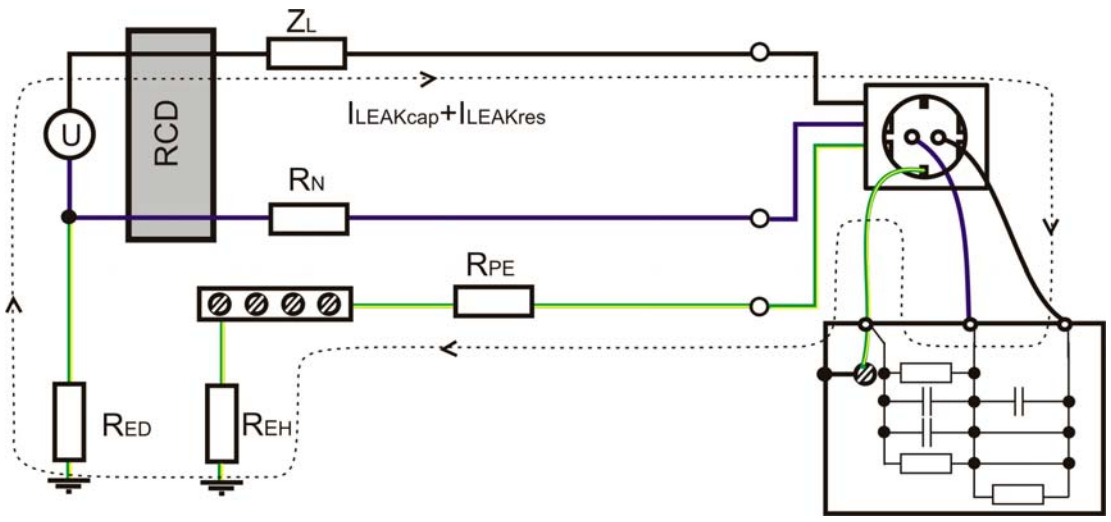


Bild 19: *Ursachen von Leckströmen*

4.2.2.2 Überhitzung

Aus Bild 20 ist ersichtlich, wie eine örtliche Überhitzung entsteht:

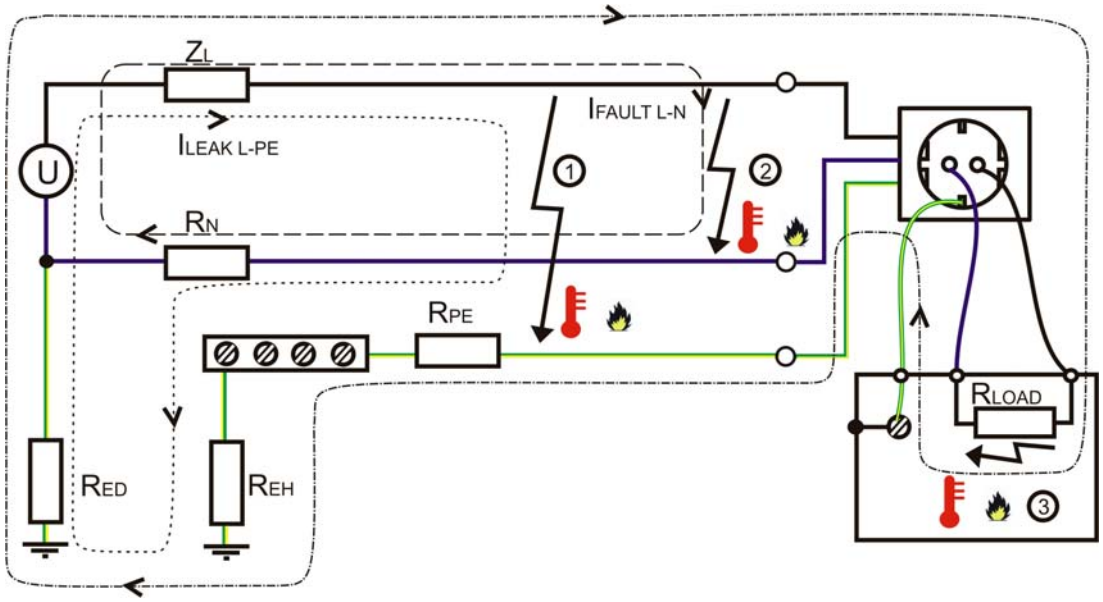


Bild 20: *Ursache von Überhitzung*

- Irgendwo in der Anlage tritt ein Fehler auf, z. B.:
  - Isolationsfehler zwischen Phase und Schutzleiter 1, Phase und Nullleiter 2.
  - Fehler in einem elektrischen Gerät 3 (Kurzschluss, Unterbrechung, Fehlfunktion usw.).
- Als Ergebnis beginnt ein Fehlerstrom zu fließen. Wenn die Anlage oder die Teile des Elektrogeräts nicht für die Stärke des Fehlerstroms ausgelegt sind, überhitzen sie sich. Dies kann zu einem Brand führen.

4.2.2.3 Blitzeinschlag

Blitzschlag stellt in vielen geografischen Gegenden eine ernste Gefahr für die elektrische Anlage und die angeschlossenen elektrischen Geräte dar.
Das nachstehende Bild zeigt ein Beispiel, wie ein Blitzeinschlag (aufgrund einer unzureichenden Blitzschutzanlage) einen Brand auslösen und Fehlerspannungen überall in der elektrischen Anlage erzeugen kann.

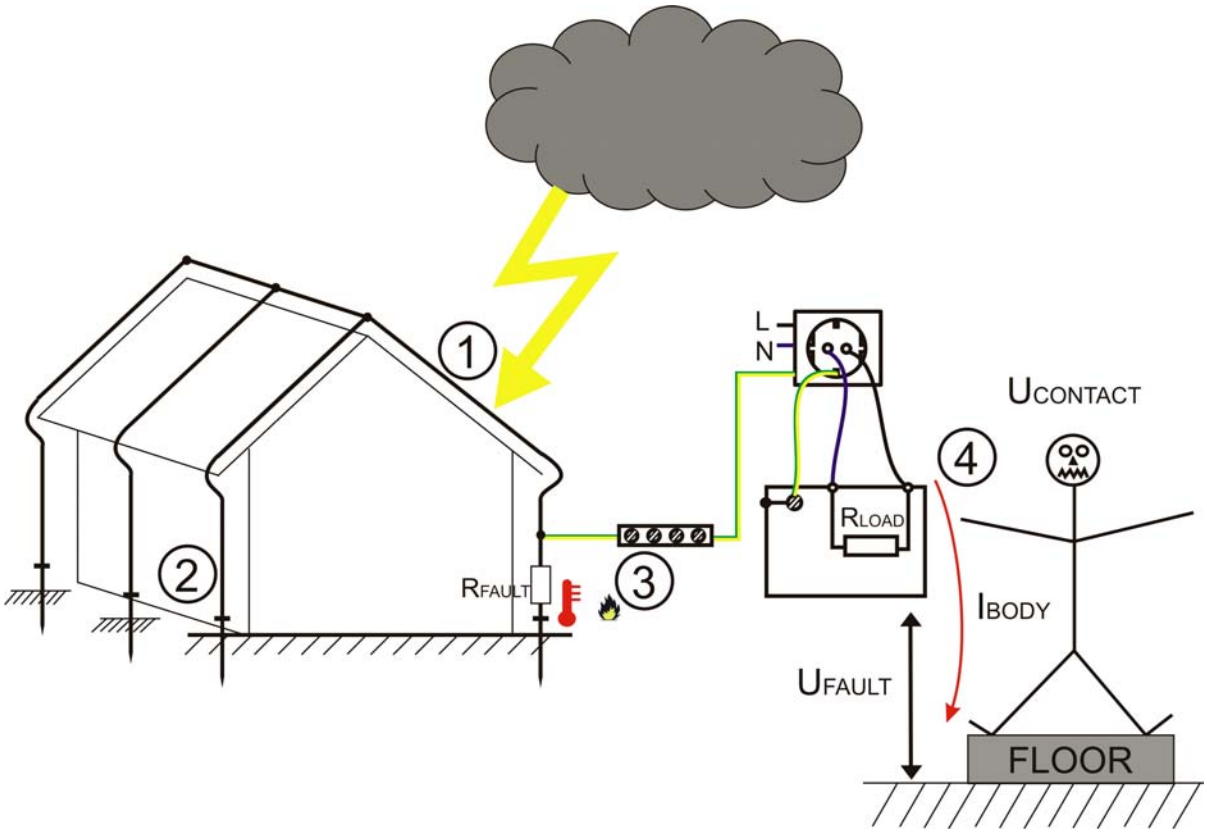


Bild 21: *Gefahrenquellen bei Blitzeinschlag*

- Das Blitzschutzsystem des Objekts hat einen direkten Blitzeinschlag 1 erlitten.
- In einem einwandfreien Blitzschutzsystem werden die durch die freigesetzte Energie verursachten hohen Spannungen korrekt in die Erde abgeleitet 2. Die Impulsspannung zwischen Erde und der Schutzleitersammelschiene bleibt relativ niedrig.
- In einem fehlerhaften Blitzschutzsystem (z. B. mit fehlerhaften Stäben) können jedoch an freiliegenden berührbaren leitenden Teilen (Schutzleiter, Metallteile mit Potentialausgleich) 3 unkontrollierte Impulsüberspannungen hoher Energie auftreten. Die Hochenergieimpulse treten über die Leiter in die elektrische Anlage ein; Überhitzung und gefährliche Fehlerspannungen können in der gesamten Anlage 4 auftreten, nicht nur an der Stelle des Einschlags.

Hinweis:

- Ein indirekter Einschlag kann ähnliche Folgen haben. Die hohen Überspannungsspitzen können sich über große Entfernungen durch elektrische Leiter ausbreiten und über jeden Leiter (L, N oder PE) in die Anlage eintreten.

4.2.2.4 Fehler in elektrischen Anlagen – Zusammenfassung

Tabelle 15 fasst typische Fehler in Anlagen zusammen.

Fehler	Häufige Fehlerursachen	Mögliche Gefahren	Typische Schutzmaßnahmen	Messung
Isolationsfehler	- Verschlechterung des Isolationsmaterials, alte Materialien; - Feuchtigkeit, Schmutz; - nachlässige Montage von Teilen der Anlage (Leuchten, Geräte); - beschädigte Isolationsschichten.	- Funkenbildung, örtliche Überhitzung und Feuer (bei genug Energie) - Fehlerströme, wenn PE betroffen ist - Spannung an freiliegenden Metallteilen	- IMDs (Isolationswächter) - Isolieren von Leitern - Ausreichende Luft- und Kriechstrecken, Schutz-abdeckungen	ISOLATION, IEC 61557-2
Fehlerstrom (1) **Leckstrom** **Berührungsspannung**	- Isolationsfehler, PE oder freiliegende leitende Teile betroffen - Filterkondensatoren und -widerstände in angeschlossenen Geräten.	- Elektrischer Schlag aufgrund zu hoher Körperströme, wenn ein freiliegendes Metallteil berührt wird. Es können Körperströme zur Erde oder zwischen zwei freiliegenden Metallteilen fließen. Besonders gefährlich, wenn die Erdung betroffen ist.	- RCDs, RMDs - Niedriger Erdungswiderstand.	RCD-Prüfung + UC IEC 61557-6 Zangenleckstrom IEC 61557-13 Niedrige Ω IEC 61557-2 Erde IEC 61557-3,5
Fehlerstrom (2)	- Pfad niedrigen Widerstands (Fehler) zwischen Phase und PE - Schlechte Montage, Fehler eines elektrischen Geräts	- Elektrischer Schlag (siehe Fehlerstrom (1)) UND - Fehlerströme, die viel höher sind als die Nennbelastbarkeit der Verdrahtungs- und Anlagen-/Gerätebauteile (Kurzschlüsse, Überschläge usw.), können Überhitzung und Feuer verursachen. - Besonders gefährlich, wenn unzureichende Schutzeinrichtungen installiert sind.	- Sicherungen, RCDs - Ausreichend niedriger Erdungswiderstand.	Schleifenimpedanz/ Fehlerstrom IPFC IEC 61557-3
Kurzschlussstrom	- Pfad niedrigen Widerstands zwischen Phase/Phase oder Phase/Nullleiter - Schlechte Montage, Fehler eines elektrischen Geräts	- Fehlerströme, die viel höher sind als die Nennbelastbarkeit der Verdrahtungs- und Anlagen-/Gerätebauteile (Kurzschlüsse, Überschläge usw.), können Überhitzung und Feuer verursachen. - Besonders gefährlich, wenn ungeeignete Schutzeinrichtungen installiert sind.	- Sicherungen	Leitungsimpedanz/ Fehlerstrom IPSC IEC 61557-3
* Norm in Vorbereitung				

Tabelle 15: *Zusammenfassung der Gefahren in elektrischen Anlagen*

4.3 Prüfeinrichtungen für elektrische Anlagen

Zum Prüfen von elektrischen Anlagen sollten nur spezielle Prüfeinrichtungen benutzt werden.
Die Sicherheitserwägungen für Installationstester sind höher als bei anderen elektrischen Geräten.

- Die Prüfgeräte sind im täglichen Gebrauch an in Betrieb befindlichen elektrischen Installationen, häufig an ungeschützten Schalttafeln, Steckdosen, Schaltern oder unter anderen schwierigen Bedingungen.
- Einige Prüfungen werden mit hohen Spannungen und Strömen durchgeführt. Diese Spannungen und Ströme dürfen unter keinen Umständen eine Gefahr an der Anlage verursachen.
- Die Prüfgeräte müssen eine hohe Störfestigkeit gegen elektromagnetische und andere Störungen im Versorgungsnetz besitzen.
- Der Anwender muss die vom Hersteller angegebenen Sicherheitsmaßnahmen kennen und beachten.

Dieses Kapitel enthält allgemeine Informationen zu Prüfeinrichtungen für elektrische Anlagen.

4.3.1 Einhaltung von Richtlinien und Normen

Prüfgeräte für elektrische Installationen müssen die Anforderungen der in Tabelle 16 aufgeführten Normen einhalten.
Die europäischen Niederspannungs- und EMV-Richtlinien beziehen sich auf die harmonisierten Normen auf Grundlage der Reihen IEC 61010 und IEC 61326. Die Einhaltung dieser Normen ist vorgeschrieben und wird durch den Hersteller oder Importeur mit dem CE-Zeichen bestätigt.
Die Reihe IEC 61557 legt zusätzliche Sicherheitsaspekte sowie die Messgenauigkeit der Installationstester fest. Die meisten nationalen Vorschriften nehmen Bezug darauf.

Sicherheit und elektromagnetische Verträglichkeit

IEC 61010-1	Sicherheitsbestimmungen für elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte – Teil 1: Allgemeine Anforderungen
IEC 61010-31	Sicherheitsbestimmungen für elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte – Teil 31: Besondere Anforderungen für handgehaltene Messfühlereinheiten für elektrische Messungen und Prüfungen
Reihe IEC 61326	Elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte - EMV-Anforderungen

Zusätzliche Sicherheitsanforderungen, Genauigkeit und Betrieb

Reihe IEC 61557	Elektrische Sicherheit in Niederspannungsnetzen bis AC 1000 V und DC 1500 V – Geräte zum Prüfen, Messen oder Überwachen von Schutzmaßnahmen
IEC 61557-1	Allgemeine Anforderungen
IEC 61557-2	Isolationswiderstand
IEC 61557-3	Schleifenimpedanz
IEC 61557-4	Widerstand der Erdverbindung und der

	Potentialausgleichsverbindungen
IEC 61557-5	Erdungswiderstand
IEC 61557-6	Wirksamkeit von Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) in TT-, TN- und IT-Netzen
IEC 61557-7	Drehfeld
IEC 61557-8	Isolationsüberwachungsgeräte für IT-Netze
IEC 61557-9	Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche in IT-Netzen
IEC 61557-10	Kombinierte Messgeräte
IEC 61557-12	Kombinierte Geräte zur Messung und Überwachung des Betriebsverhaltens

Tabelle 16: *Normen für Installationstester und Überwachungsgeräte*

4.3.2 Kennzeichnungen und Spezifikationen der Einrichtungen

Tabelle 17 enthält sicherheitsbezogene Kennzeichnungen auf Messeinrichtungen.
Die Kennzeichnungen informieren über die Bedingungen, unter denen das Instrument zu benutzen ist.

Kennzeichnung	Beschreibung
	Vorsicht, siehe Hinweis! (Normalerweise das Benutzerhandbuch) Das Symbol kann sich auf die Prüfeinrichtung als Ganzes oder einen Teil davon beziehen.
	Vorsicht, Gefahr eines elektrischen Schlags! Die Einrichtung kann gefährliche Spannungen erzeugen.
	Schutz durch Schutzisolierung Schutzisolierung ist für Installationstester typisch.
600 V KAT III	Überspannungskategorie. Gibt das Schutzniveau gegen Überspannungen an.
Verschmutzungs-grad 2	Einfluss von Verschmutzung. Beeinflusst das Schutzniveau gegen Überspannungen.
IP 42	Schutz durch das Gehäuse. Gibt den Schutz gegen Umwelteinflüsse an.

Tabelle 17: *Kennzeichnungen an Installationstestern*

4.3.3 Genauigkeit des Instruments, Kalibrierung, Nachkalibrierung

Für die Prüfzwecke sind nachgewiesene Genauigkeit und Beständigkeit von Prüfgeräten während ihrer gesamten Lebensdauer erforderlich. In diesem Kapitel werden Maßnahmen beschrieben, wie dies sichergestellt werden kann.

Genauigkeit

- Instrumente müssen gemäß den Normen der IEC 61557 entwickelt und zugelassen werden.

Gültige Kalibrierung des Geräts

- Neue Geräte müssen mit einem gültigen Kalibrierungszertifikat vom Hersteller ausgestattet sein.

- Kalibrierungszertifikate von anerkannten Prüfstellen sind am wertvollsten. Anerkannte Prüfstellen unterliegen einer strengen Kontrolle; ihre Ergebnisse können als absolut genau und verfolgbar angesehen werden.

Regelmäßige Nachkalibrierung
- Es muss ein geeignetes Datum für die Nachkalibrierung festgelegt werden.
- Das vom Hersteller empfohlene Datum für die Nachkalibrierung je nach Benutzungsgrad muss beachtet werden.
- Im Falle täglichen Gebrauchs oder wenn das Instrument unter ungünstigen Bedingungen benutzt wird (höhere Anzahl von Prüfungen als normal, Feuchtigkeit und hohe Temperaturen), muss der Nachkalibrierungsabstand kürzer sein.
- Nationale oder andere Vorschriften zu Nachkalibrierungsabständen müssen beachtet werden.

Informelle Genauigkeitsüberprüfungen
Zwischen den Nachkalibrierungen gibt es einige sinnvolle Verfahren, um das Vertrauen zu dem Prüfgerät zu bewahren.
- Tägliche (wöchentliche) Vergleichsprüfungen mit anderen Geräten.
- Tägliche (wöchentliche) Vergleichsmessungen an bekannten Referenzpunkten mit bekannten Werten.
- Benutzung einfacher Feldkalibrierungsgeräte (z. B. Eurocheck MI2099 von METREL).

METREL-Kalibrierungslabor
Alle von METREL hergestellten Installationstester werden im anerkannten METREL-Kalibrierungslabor kalibriert. Weitere Informationen finden Sie auf der METREL-Website.

4.3.4 Überspannungskategorie
Insbesondere bei Anlagen mit hoher Leistung (Umspannstationen, Industrieanlagen) können Überspannungsspitzen (schnelle Schaltspitzen und Stoßspannungen) und hohe (Strom-) Energiedurchbrüche sehr zerstörerisch wirken.
Gründe für Überspannungsspitzen und in der Folge für Durchbrüche sind:
- Direkter oder indirekter Blitzeinschlag.
- Schnelle Stromänderungen/-unterbrechungen im Energienetz (Ein-/Ausschalten von Motoren, Transformatoren, großen Lasten, Ausfälle, Ansprechen von Schutzeinrichtungen).

Überspannungen können sich durch die Verteilungs-/Installationsverdrahtung ausbreiten. Daher kann auch ein Fehler an einer entfernten Stelle Probleme bereiten.
Wenn die elektrische Einrichtung die Überspannung nicht aushält, kann die Überspannungsspitze/Stoßspannung als Auslöser für einen Durchbruch wirken. Die Folgen hängen von der Impedanz der Fehlerschleife ab.
In einer Haushaltsumgebung verursachen Durchbrüche gewöhnlich das Auslösen von Schutzeinrichtungen, ohne ernsthafte Probleme zu bereiten. Am Eingang einer Anlage kann ein Durchbruch ernstere Folgen haben, da die Fehlerimpedanzen niedriger sind. Er kann Verbrennungen und schwere Schäden rund um die Fehlerstelle verursachen.
Sowohl Durchbrüche als auch Überspannungen treten wahrscheinlicher auf:
- bei Anlagen, die mehr Leistung abgeben (gewöhnlich nahe dem Eintritt),

- bei Außenleitern, die anfälliger für alle Arten von elektromagnetischen Störungen sind.

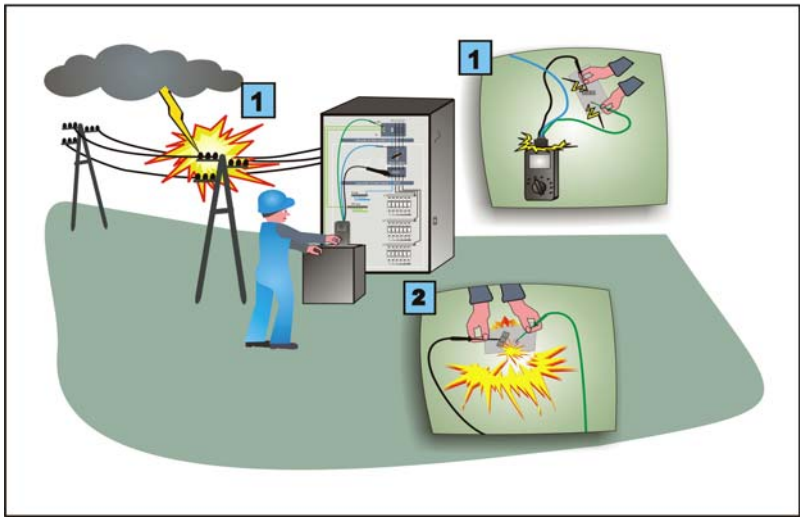


Bild 22: *Ursache und Folgen eines Durchbruchs*

Bild 23: *Foto des Durchbruchs bei einem Prüfgerät*

Überspannungskategorien in der Installation

Die Norm IEC 60364-4 enthält die Definition der Überspannungskategorien (Abschnitt 44: Schutz gegen Störspannungen und elektromagnetische Störungen). Sie werden abhängig von den Installationsimpedanzen, der Nähe zum Eingang der Installation sowie den installierten Schutzelementen festgelegt. Für jede festgelegte Kategorie/Spannung ist die maximale Amplitude der während der Messung (an der elektrischen Anlage, den Geräten usw.) zu erwartenden Überspannungsspitzen definiert, siehe Bild 24.

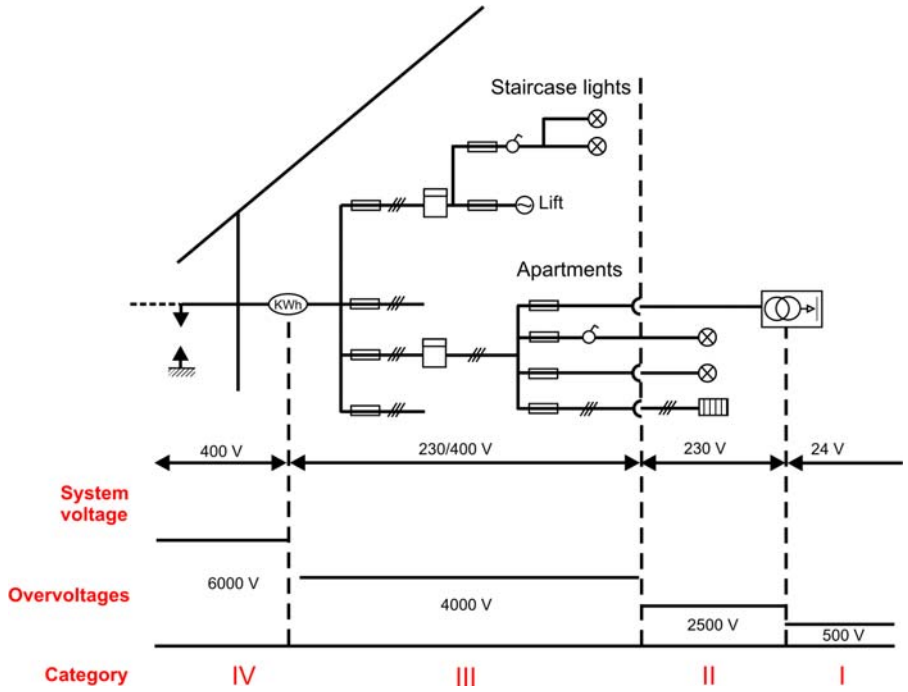


Bild 24: *3 Überspannungen gemäß IEC 60364*

Umgebung der KAT IV
Der Eingang der Anlage, EVU-Transformatoren, alle Außenleiter, Energiezähler, Schutzeinrichtungen auf den Primärseiten und Stromzähler werden als Umgebung der KAT IV eingeordnet.

Umgebung der KAT III
Verteilertafeln, Maschinen, Hauptschaltgeräte nahe den Schalteinrichtungen, industrielle Anlagen und Hochstromkreise/-steckdosen nahe den Verteilertafeln werden als Umgebung der KAT III eingeordnet.

Umgebung der KAT II
Steckdosen, Lichtschalter und Verbindungen in Gebäuden und Steckdosen in mehr als 10 m Abstand von einer Quelle der Kat III werden als Umgebung der KAT II eingeordnet.

Umgebung der KAT I
Elektronik auf der Sekundärseite von Versorgungstransformatoren, elektrische Geräte mit Netztrennung und Niederspannungsausgängen werden als Umgebung der KAT I eingeordnet.

Überspannungskategorien von Installationstestern
Da Installationstester oft an der Energiequelle und am Eingang der Anlage verwendet werden, ist ein hoher Schutz gegen Überspannungen wichtig.

Die Norm IEC 61010-1 befasst sich auch mit Überspannungen. Dort werden die minimalen Schutzmaßnahmen für Messgeräte für alle Installationsüberspannungskategorien festgelegt. Die Messgeräte müssen sicher bleiben, wenn sie der maximal in der Anlage zu erwartenden Überspannungsspitze ausgesetzt werden. Die meisten Installationstester sind so entworfen, dass sie den in

einer Umgebung der KAT III zu erwartenden Überspannungen standhalten. Nur wenige Modelle mit verbesserten Schutzschaltungen sind für eine Umgebung der KAT IV entworfen. Da sie zusätzliche Überspannungsschutzmaßnahmen enthalten, sind zum Hervorrufen eines Durchbruchs höhere Überspannungen erforderlich.

Moderne Installationstester sollten mindestens mit 300 V KAT IV deklariert sein!

Überspannungsschutzkategorien, wie in IEC 60664-1 und IEC 61010-1 für Phase – Erde definiert	**Überspannungsspitze**
KAT II 600 V	4000 V
KAT III 300 V	
KAT III 600 V	6000 V
KAT IV 300 V	
KAT III 1000 V	8000 V
KAT IV 600 V	

Tabelle 18: *Überspannungsschutzkategorien für Installationstester*

Weitere Schutzmaßnahmen in Umgebungen mit hohen Spannungen
Neben der Verwendung eines Messgeräts mit einer hohen Schutzklasse muss der Benutzer auch auf das Zubehör achten (Prüfleitungen, Prüfspitzen, Krokodilklemmen, Stromzangen), insbesondere wenn er Prüfungen in einer Umgebung der KAT IV durchführt. Das Zubehör muss mindestens dieselbe Kategorie haben wie das Gerät.
Da Zubehör Verschleiß, Beschädigungen usw. unterliegt, ist es sinnvoll, Zubehör mit einer höheren Schutzklasse als der des Instruments zu benutzen.
Auch wenn man alle Sicherheitsmaßnahmen beachtet, kann das Prüfgerät doch ausfallen (Durchbrüche durch unerwartete Überspannungsspitzen usw.).
Daher sollte der Benutzer

- isolierende Handschuhe, eine Sicherheitsbrille, feuerbeständige Kleidung tragen,
- isolierende Stiefel tragen und auf nichtleitendem Boden stehen,
- keinen metallischen Schmuck oder Uhren tragen,
- möglichst das Instrument nicht um den Hals hängen oder in der Hand halten,
- im Zweifelsfall immer annehmen, dass der Stromkreis unter Spannung steht
- usw.

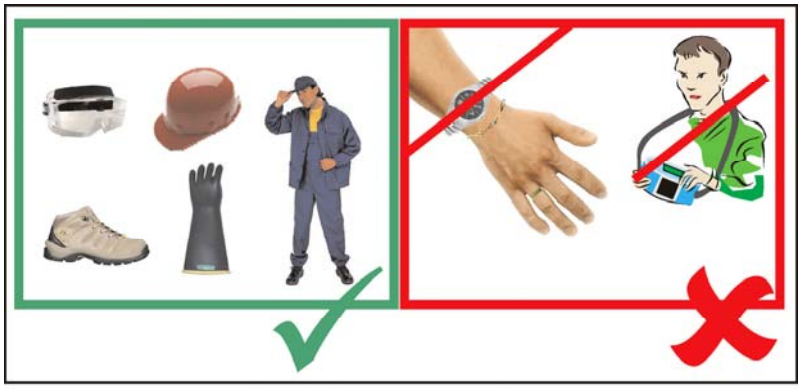


Bild 25: *Weitere Schutzmaßnahmen für die Arbeit in Umgebungen der Kat IV*

Hinweis:
Weitere Informationen über Überspannungen finden Sie im METREL-Artikel *Electrical installation testers: CAT IV or CAT III?* (Elektrische Installationstester: KAT IV oder KAT III?), der auf der Website von METREL zur Verfügung steht.

4.3.5 Verschmutzungsgrad

Staub und andere Verschmutzungen sammeln sich auf Oberflächen außen am Gerät, aber auch im Gerät, weil sie durch die Öffnungen dringen. Staub in Kombination mit Feuchtigkeit bildet eine Schicht, die die Isolationsfähigkeit reduziert. Drei Verschmutzungsgrade sind definiert:

Verschmutzungs-grad 1	Es tritt keine Verschmutzung oder nur trockene, nichtleitende Verschmutzung auf. Die Verschmutzung hat keinen Einfluss.
Verschmutzungs-grad 2	Normalerweise tritt nur nicht leitende Verschmutzung auf. Gelegentlich muss jedoch eine vorübergehende Leitfähigkeit aufgrund von Feuchtigkeitskondensation erwartet werden.
Verschmutzungs-grad 3	Es tritt leitende Verschmutzung auf, oder trockene, nichtleitende Verschmutzung tritt auf, von der erwartet wird, dass sie aufgrund von Feuchtigkeitskondensation leitend wird.

Tabelle 19: *Verschmutzungsgrade gemäß der Norm IEC 60664*

Bei Installationstestern wird standardmäßig Verschmutzungsgrad 2 angewandt.

4.3.6 Schutz durch das Gehäuse

Der IP-Faktor definiert das Folgende:

- Personenschutz gegen gefährliche Spannung innerhalb des Geräts.
- Schutz gegen Eindringen von Festkörpern (Sand, Staub).
- Schutz gegen Eindringen von Wasser.

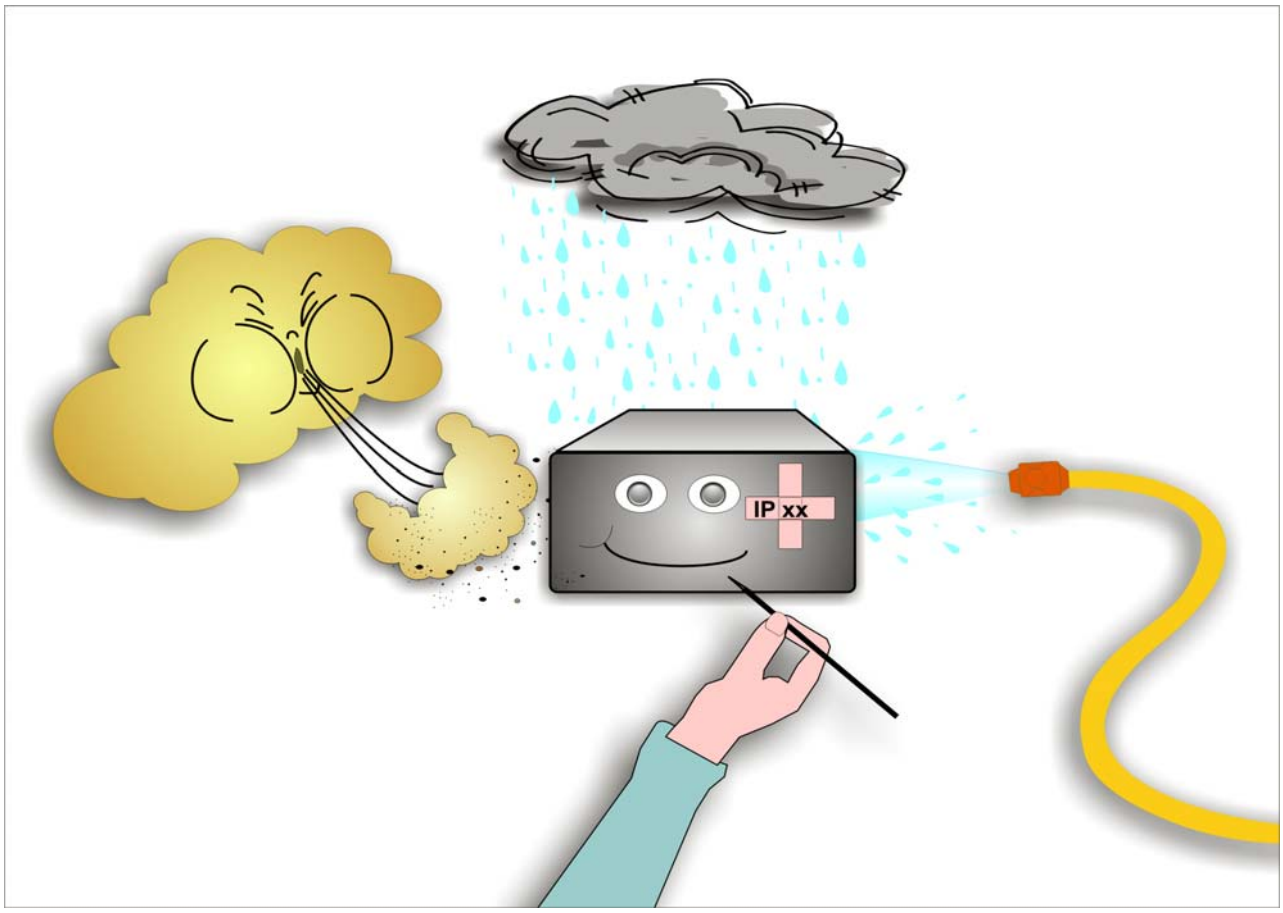


Bild 26: *IP-Faktor – Schutz durch das Gehäuse*

Die Bedeutung der ersten und zweiten IP-Ziffer ist in Tabelle 20 beschrieben (wie in IEC 60529 definiert).

Schutz gegen **feste Fremdkörper**

IP-Code	Beschreibung
IP **0**x	Ungeschützt.
IP **1**x	Geschützt gegen feste Fremdkörper von 50 mm Durchmesser und größer.
IP **2**x	Geschützt gegen feste Fremdkörper von 12,5 mm Durchmesser und größer.
IP **3**x	Geschützt gegen feste Fremdkörper von 2,5 mm Durchmesser und größer.
IP **4**x	Geschützt gegen feste Fremdkörper von 1 mm Durchmesser und größer.
IP **5**x	Staubgeschützt.
IP **6**x	Staubdicht.

Schutz gegen **Eindringen von Wasser**

IP-Code	Beschreibung
IP x**0**	Ungeschützt.
IP x**1**	Geschützt gegen senkrecht fallende Wassertropfen.
IP x**2**	Geschützt gegen senkrecht fallende Wassertropfen, wenn das Gehäuse um 15 gekippt wird.
IP x**3**	Geschützt gegen Sprühwasser.
IP x**4**	Geschützt gegen Spritzwasser.
IP x**5**	Geschützt gegen Wasserstrahlen.
IP x**6**	Geschützt gegen kräftige Wasserstrahlen.
IP x**7**	Geschützt gegen die Auswirkungen von vorübergehendem Eintauchen in Wasser.
IP x**8**	Geschützt gegen die Auswirkungen von dauerndem Eintauchen in Wasser.

Tabelle 20: *IP-Schutz gemäß der Norm IEC 60529*

Die Mindestanforderung für Installationstester ist IP 40. Das reicht normalerweise aus, wenn das Gerät nicht im Freien verwendet wird. Der Standard-IP-Grad für Installationstester ist IP 41.

5 Sicherheitsmanagement elektrischer Anlagen

Der Begriff „Sicherheitsmanagement von Installationen“ fasst alle notwendigen Maßnahmen zusammen, die unternommen werden müssen, um die Sicherheit von elektrischen Anlagen während ihrer gesamten Lebenszeit sicherzustellen. Zum sicheren und einwandfreien Betrieb einer elektrischen Anlage muss sie korrekt entworfen, gebaut, in Betrieb genommen und gewartet werden. Jeder dieser Schritte sollte überprüft, validiert und dokumentiert werden.
Bild 27 fasst die Maßnahmen zum Sicherstellen einer sicheren und arbeitsfähigen elektrischen Anlage zusammen.

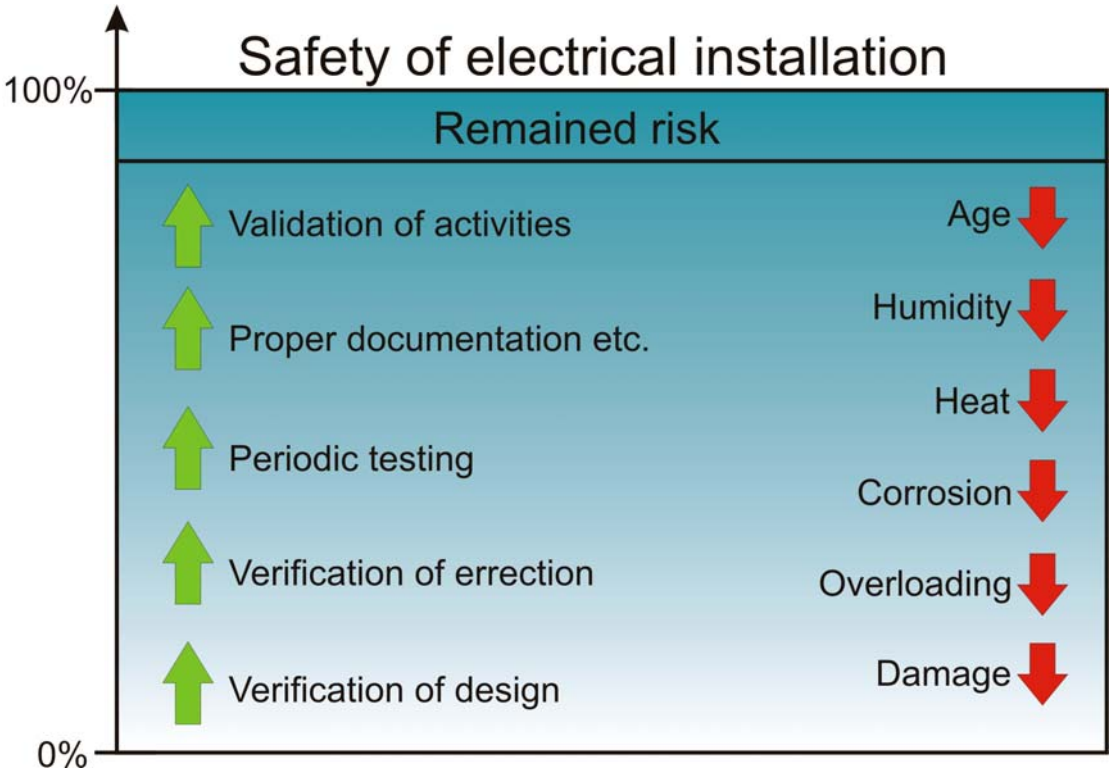


Bild 27: *Sicherheitsmanagement*

Überprüfung bedeutet Bestätigung durch einen technischen Fachmann (Elektriker, Installateur).
Validierung bedeutet Bestätigung durch eine amtliche Person (Inspektor).

Die elektrische Installation muss in jeder der folgenden Phasen überprüft und validiert werden:

- nach dem Entwurf,
- nach der Montage zum Aufbau,
- nach einer Änderung,
- regelmäßig.

Die Überprüfungen nach Montage und Änderungen sowie die regelmäßigen Überprüfungen sollten durch Sichtprüfungen und Messungen gestützt werden.

5.1 Entwurfsüberprüfung

Bei der Entwurfsüberprüfung soll überprüft werden, ob der Entwurf einer neuen Anlage oder einer Änderung den Projektunterlagen entspricht. Die Überprüfung soll bestätigen, dass alle Sicherheitsmaßnahmen und anderen Anforderungen berücksichtigt werden.

5.2 Überprüfung nach der Montage (Erstüberprüfung)

Die Erstüberprüfung soll nachweisen, dass die Montage der Anlage korrekt und gemäß den Projektunterlagen ausgeführt wurde.
Die gesamte Anlage muss gründlich und in allen Einzelheiten überprüft werden. Die Überprüfung besteht aus einer Sichtprüfung und Tests. Beide Schritte müssen gut dokumentiert werden. Es muss ein Überprüfungsprotokoll erstellt werden.
In Kapitel 8.1.1 finden Sie weitere Informationen über die Erstüberprüfung.

5.3 Wartungsprüfung (nach Änderungen, Erweiterungen, Abänderungen, Instandsetzung)

Wartung bedeutet jede Änderung oder ein Austausch an der in Betrieb befindlichen Anlage. Typische Wartungsarbeiten sind der Austausch von Bestandteilen der Anlage, das Hinzufügen neuer Verbindungspunkte, das Hinzufügen neuer Stromkreise, das Ändern bestehender Stromkreise und Punkte usw. Die Überprüfung umfasst gewöhnlich eine gründliche Prüfung (ähnlich wie bei der Erstüberprüfung) der geänderten Teile der Anlage und eine Schnellprüfung/-inspektion der bestehenden (nicht geänderten) Teile.
Die Überprüfung nach der Wartung soll die ausgeführten Arbeiten überprüfen und nachweisen, dass die Funktionsleistung der Anlage innerhalb der angegebenen Grenzwerte bleibt. Alle Überprüfungsschritte müssen gut dokumentiert werden. Es muss ein Prüfprotokoll (in einfacherer Form) erstellt werden.
In Kapitel 8.1.1 finden Sie weitere Informationen über die Überprüfung nach der Wartung.

5.4 Regelmäßige (wiederkehrende) Prüfung

In bestimmten Zeitabständen müssen regelmäßige Tests ausgeführt werden, um festzustellen, ob die Anlage in zufriedenstellendem Zustand ist.
Die regelmäßige Prüfung sollte aus Inspektion und Tests bestehen, soweit angemessen durchführbar. Da diese Prüfung oft ausgeführt werden muss, ohne den regulären Betrieb der Anlage zu stören, oder da einige Teile nicht zugänglich sind, ist sie nicht so streng wie die anderen Prüfungen. Daher ist es wichtig,

- dass das Ausmaß der Prüfung zwischen dem Auftragnehmer und dem Kunden vereinbart wird,
- dass die Einschränkungen der Prüfung klar beschrieben und dokumentiert werden,
- dass es keine unnötigen Beschränkungen gibt.

5.4.1 Zeitabstand für Folgeprüfungen

Der Zeitabstand bis zur nächsten regelmäßigen Überprüfung sollte durch einen Fachmann festgelegt werden. IEC 60364-6 empfiehlt die folgenden Zeitabstände für die regelmäßige Überprüfung.

Zeitabstand	***Anlagen***
Länger (z. B. 10 Jahre)	- Wohnungen Hinweis: Die elektrische Anlage muss überprüft werden, wenn der Wohnungsinhaber wechselt.
4 Jahre	Typischer Zeitabstand für die meisten Installationsgruppen
Kürzer	- Arbeitsstätten oder Orte, bei denen eine Verschlechterung zur Gefahr von elektrischem Schlag, Brand oder Explosion führt - Arbeitsstätten oder Orte mit sowohl Hochspannungs- als auch Niederspannungsinstallationen. - Gemeindeeinrichtungen. - Baustellen. - Sicherheitsanlagen.

Tabelle 21: *Empfohlene Zeitabstände für regelmäßige Prüfungen*

Hinweis:

- Die empfohlenen Zeitabstände sind die maximalen Intervalle. Sie werden angewandt, wenn die Anlage normalen Bedingungen und normalem Gebrauch ausgesetzt ist.
- Aufgrund besonderer Umstände können kürzere Abstände festgelegt werden. In diesem Fall sollte der Grund angegeben werden.
- Nationale Vorschriften müssen eingehalten werden. Sie können andere Zeitabstände empfehlen.

6 Inspektionen und Prüfungen

6.1 Inspektionen

Die Sichtinspektion ist ein wichtiger und effektiver Teil der Überprüfung von Installationen. Die Sichtprüfung kann viele Fehler aufdecken, die durch Prüfen nicht gefunden werden können.
Die Sichtprüfung sollte immer vor dem Prüfen durchgeführt werden.

Umfang:
Die Inspektion sollte überprüfen,

- ob die Komponenten der Anlage mit den Projektunterlagen übereinstimmen (Größe, Funktionsweise),
- ob die Komponenten korrekt und sorgfältig installiert sind,
- ob die Komponenten mit den Sicherheitsanforderungen der relevanten Gerätenorm (Kennzeichnung, Zertifizierung, Herstellerangaben) übereinstimmen,
- ob die Sicherheitsvorkehrungen mit den Projektunterlagen übereinstimmen,
- ob keine sichtbaren Schäden bestehen, die die Sicherheit gefährden könnten.

Bezugsdokumente
Die minimalen Anforderungen für den Umfang der Sichtinspektion sind aufgeführt in:

- IEC 60364-6 (Kapitel 61.2),
- ES 59009 (Länder der CENELEC).

6.1.1 Erforderlicher Umfang der Sichtprüfung – IEC 60364

Die Inspektion muss mindestens die Prüfung folgender Punkte enthalten, soweit zutreffend:

a) Methode zum Schutz gegen elektrischen Schlag (Teil 4-41).
b) Vorhandensein von Brandschutzwänden und anderen Maßnahmen gegen das Ausbreiten von Feuer und zum Schutz gegen Wärmeeinwirkungen (Teil 4-42 und Abschnitt 527 von Teil 5-52).
c) Auswahl von Leitern bezüglich Strombelastbarkeit und Spannungsabfall (Teil 4-43 sowie Abschnitte 523 und 525 von Teil 5-52).
d) Wahl und Einstellung von Schutz- und Überwachungseinrichtungen (Teil 5-53).
e) Vorhandensein und korrekte Anordnung geeigneter Trenn- und Schalteinrichtungen (Abschnitt 536 von Teil 5-53).
f) Auswahl von geeigneten Einrichtungen und Schutzmaßnahmen gegen äußere Einflüsse (Abschnitt 422 von Teil 4-42, 512.2 von Teil 5-51 und Abschnitt 522 von Teil 5-52).
g) Korrekte Kennzeichnung von Null- und Schutzleiter (514.3 von Teil 5-51).
h) Einpolige Schalteinrichtungen in die Phasenleiter geschaltet (Abschnitt 536 von Teil 5-53).
i) Vorhandensein von Diagrammen, Warnhinweisen und weiteren ähnlichen Informationen (Abschnitt 514.5 von Teil 5-51).
j) Kennzeichnung von Stromkreisen, Überstromschutzeinrichtungen, Schaltern, Klemmen usw. (Abschnitt 514 von Teil 5-51).
k) Angemessene Verbindungen der Leiter (Abschnitt 526 von Teil 5-52).

l) Vorhandensein und Angemessenheit von Schutzleitern, einschließlich der Haupt- und Zusatzpotentialausgleichsleiter (Teil 5-54).
m) Zugänglichkeit der Einrichtungen zur Zweckmäßigkeit bei Betrieb, Identifizierung und Wartung (Abschnitte 513 und 514 von Teil 5-51).

Die Inspektion muss alle besonderen Anforderungen für spezielle Anlagen oder Örtlichkeiten umfassen.

Vorgehensweise bei der Inspektion:
Die Inspektion/Sichtprüfung muss als Erstes vor jeder Messung durchgeführt werden. Die Inspektion muss in folgender Reihenfolge ausgeführt werden:

- Sichtprüfung des Eingangs der Anlage,
- Sichtprüfung an der Verteilertafel,
- Sichtprüfung der Endstromkreise.

Erste Inspektion
Jeder Punkt der vollständigen Anlage muss besichtigt werden. Mechanische Befestigungen sollten überprüft werden. Die gesamte Anlage muss während der Inspektion von der Versorgung getrennt werden.
Inspektion nach Änderung oder Reparatur
Die Teile der Anlage, die repariert oder geändert wurden, müssen wie bei der Erstinspektion gründlich inspiziert werden. Die betrachteten Teile der Anlage müssen von der Versorgung getrennt werden.
Regelmäßige und Wartungsinspektion
Die Teile der Anlage, die gewartet und regelmäßig überprüft werden sollen, müssen inspiziert werden. In diesem Fall wird die Anlage normalerweise nicht von der Versorgung getrennt.

Ergebnisse:
IEC 60364-6 gibt eine detaillierte Prüfliste für die Sichtprüfung vor (weitere Informationen siehe Kapitel 8.1.5). Jedem Punkt muss im Protokoll ein Vermerk zugeordnet werden. Alle überprüften Punkte müssen die Prüfung bestehen; jedes ungenügende Objekt muss repariert werden, bis es die Prüfung besteht. Die Ergebnisse können notiert werden als:

GUT	Der Punkt wurde geprüft, und das Ergebnis ist zufriedenstellend.
SCHLECHT	Der Punkt wurde geprüft, und das Ergebnis ist nicht zufriedenstellend.
EINGESCHRÄNKT	Die Inspektion wurde eingeschränkt durchgeführt. Das Ausmaß der Einschränkung muss beschrieben werden.
NICHT ANWENDBAR	Der Punkt ist bei dieser speziellen Inspektion nicht anwendbar.

6.2 Tests

6.2.1 Isolationswiderstand

Umfang der Prüfung
Diese Prüfung deckt Isolationsfehler auf, die durch Verschmutzung, Feuchtigkeit, Verschlechterung von Isolationsmaterialien usw. verursacht werden.

Der Isolationswiderstand einer elektrischen Anlage ist im Ersatzschaltbild in Bild 15 durch den Parameter R_{IH} dargestellt.

Bezugsdokumente:
Grenzwerte, Vorgehensweise: IEC 60364-6 (Kapitel 61.3.3, Tabelle 6A)
Messgeräte: IEC 61557-2

Messprinzipien / Grenzwerte:
Der Isolationswiderstand muss gemessen werden zwischen

- Phasenleitern
- Phasen- und Schutzleitern
- Phasen- und Nullleitern
- Null- und Schutzleitern.

Tabelle 22 zeigt die Grenzwerte für elektrische Anlagen gemäß IEC 60364-6.

Nennspannung des Stromkreises	DC-Prüfspannung: V	Isolationswiderstand MΩ
SELV und PELV	250	≥ 0,5
Anlagen mit Nennspannungen bis einschließlich 500 V, einschließlich FELV	500	≥ 1,0
Über 500 V	1000	≥ 1,0

Tabelle 22: *Isolationswiderstand – Grenzwerte*

Hinweise:

- Kapazitäten in der Anlage (Kabel, angeschlossene Geräte) können kapazitive Leckströme verursachen. Sie sind im Ersatzschaltbild in Bild 15 als C_{IH} dargestellt. Der kapazitive Anteil der Impedanz wird bei der Isolationsprüfung nicht erfasst, da sie mit Gleichspannung durchgeführt wird.
- Im Normalfall ist der Isolationswiderstand weit höher als die vorgegebenen Grenzwerte, insbesondere bei neuen Anlagen. Wenn das Ergebnis nahe bei oder unter dem geforderten minimalen Isolationswiderstand liegt:
  - Wiederholen Sie die Messung mit längerer Messzeit oder führen Sie mehrere Prüfungen durch.
  - Überprüfen Sie, ob die Lasten/Verbraucher abgetrennt und/oder ausgeschaltet sind, Überspannungsschutzeinrichtungen entfernt sind und die Beleuchtung ausgeschaltet ist.
  - Wenn es Anzeichen von Staub und Feuchtigkeit gibt, reinigen und trocknen Sie kritische Teile.
- Wenn Überspannungsschutzeinrichtungen nicht entfernt werden können, könnte die Prüfspannung auf 250 V_{DC} reduziert werden. In diesem Fall beträgt der Grenzwert des Isolationswiderstands 1 MΩ (IEC 60364-6).
- Prüfen Sie einzelne Teilstromkreise, um die problematischen Stelle zu finden (durch Öffnen von Trennschaltern, Entfernen von Sicherungen usw.).

6.2.1.1 Isolation der gesamten Anlage

Unter den folgenden Bedingungen kann die Prüfung des Isolationswiderstands für die gesamte Anlage durchgeführt werden:

- Die Anlage muss während der Isolationsprüfung vom Netzeingang abgetrennt sein; Hauptschalter = AUS.
- Alle Teilstromkreise müssen einbezogen werden; die anderen Schalter/Sicherungen/RCDs sind eingeschaltet.
- Alle Lasten (Motoren, Elektrogeräte, Leuchten) müssen physisch abgetrennt sein.

Wenn die gesamte Verdrahtung der Anlage in die Prüfung einbezogen wurde und das Ergebnis GUT ist, kann behauptet werden, dass die Isolationsprüfungen aller Unterobjekte (Einzelstromkreise, Schalttafeln) ebenfalls bestanden haben.
Diese Prüfung wird üblicherweise an der Schalttafel durchgeführt, obwohl sie von jedem Anschlusspunkt aus durchgeführt werden könnte, an dem die Leiter L (L1, L2, L3), N und PE zugänglich sind.
Im Falle eines Fehlers müssen die Einzelstromkreise geprüft werden.

Hinweise:

- Einige nationale Vorschriften erkennen diese Prüfung nicht als ausreichend an. In diesem Fall muss der Isolationswiderstand an jedem Anschlusspunkt des Endstromkreises geprüft werden.
- Bei der regelmäßigen Prüfung ist es manchmal unmöglich, alle Lasten zwischen L und N abzuschalten. Falls es erlaubt ist, sollte die L-N-Prüfung in diesem Fall übersprungen werden.

6.2.1.2 Isolationswiderstand einzelner Stromkreise / Objekte

Insbesondere bei der Störungssuche wird der Isolationswiderstand einzelner Teile der Anlage geprüft. In diesem Fall müssen die entsprechenden Sicherungen / Schalter ausgeschaltet werden, um den betrachteten Teil der Anlage abzutrennen.

Anschlussschaltbilder

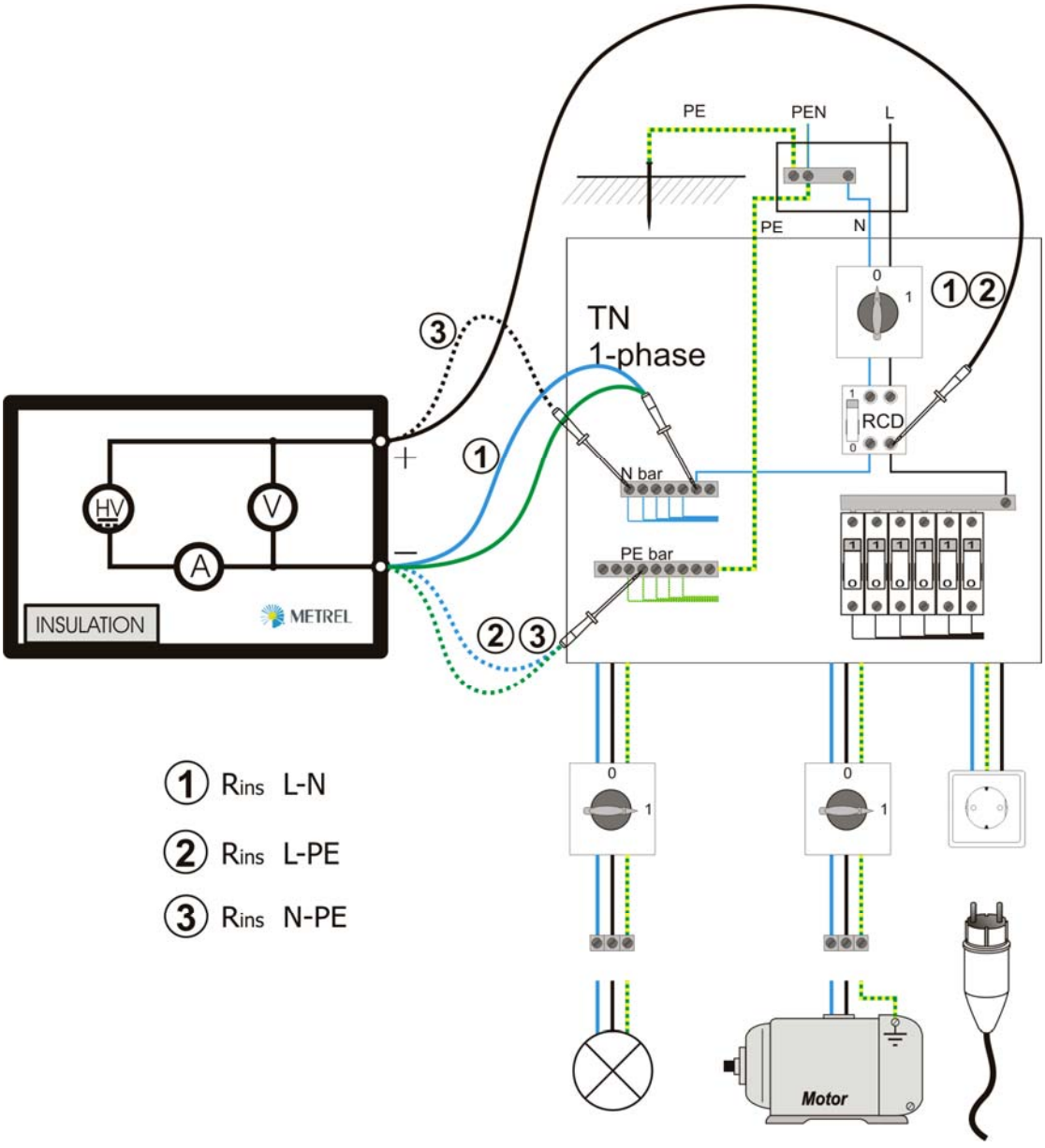


Bild28: *An der Schalttafel ausgeführte vollständige Isolationsprüfung*

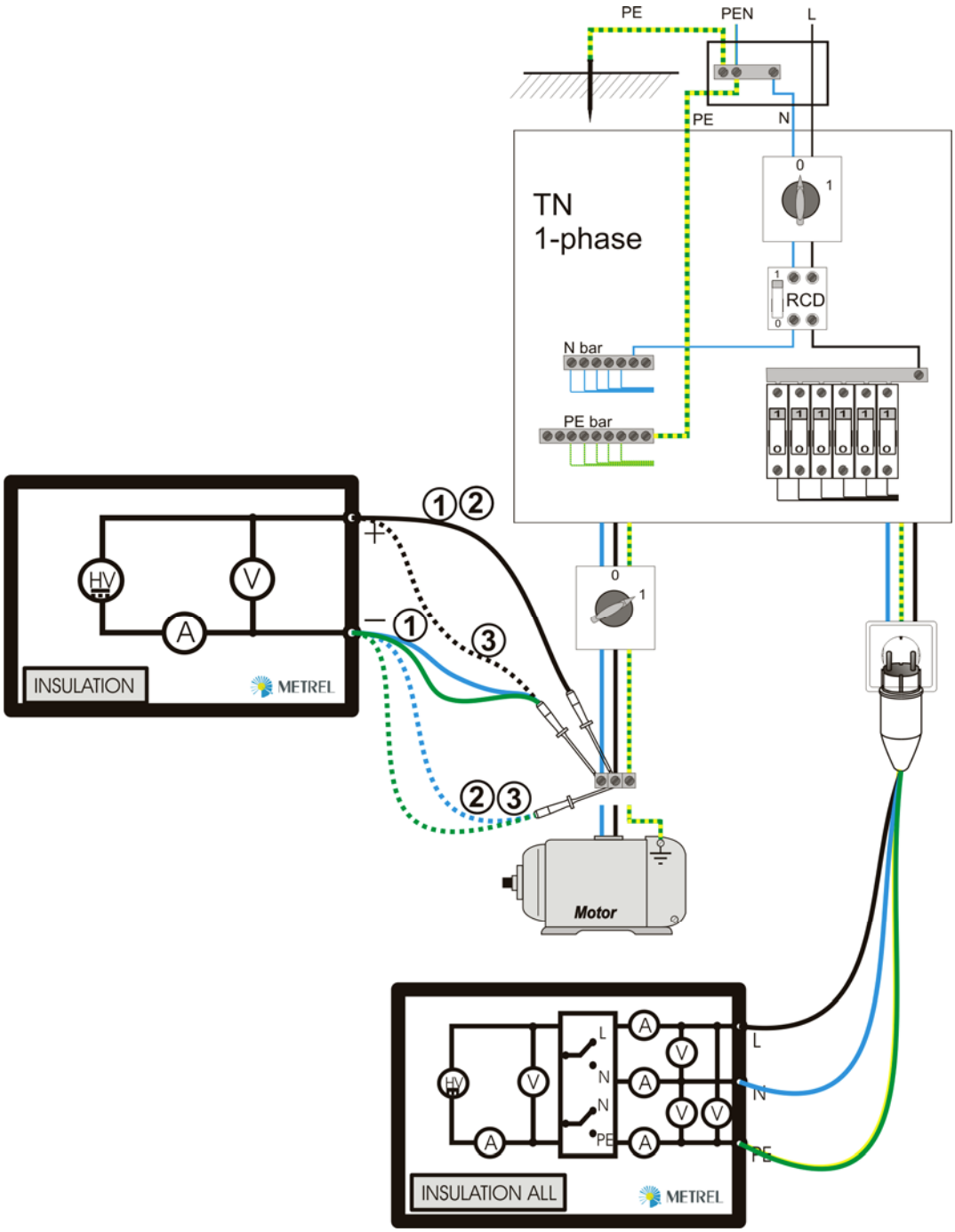


Bild 29: *Vollständige Isolationsprüfung am Anschlusspunkt; an der Steckdose (Funktion „Isolation gesamt“)*

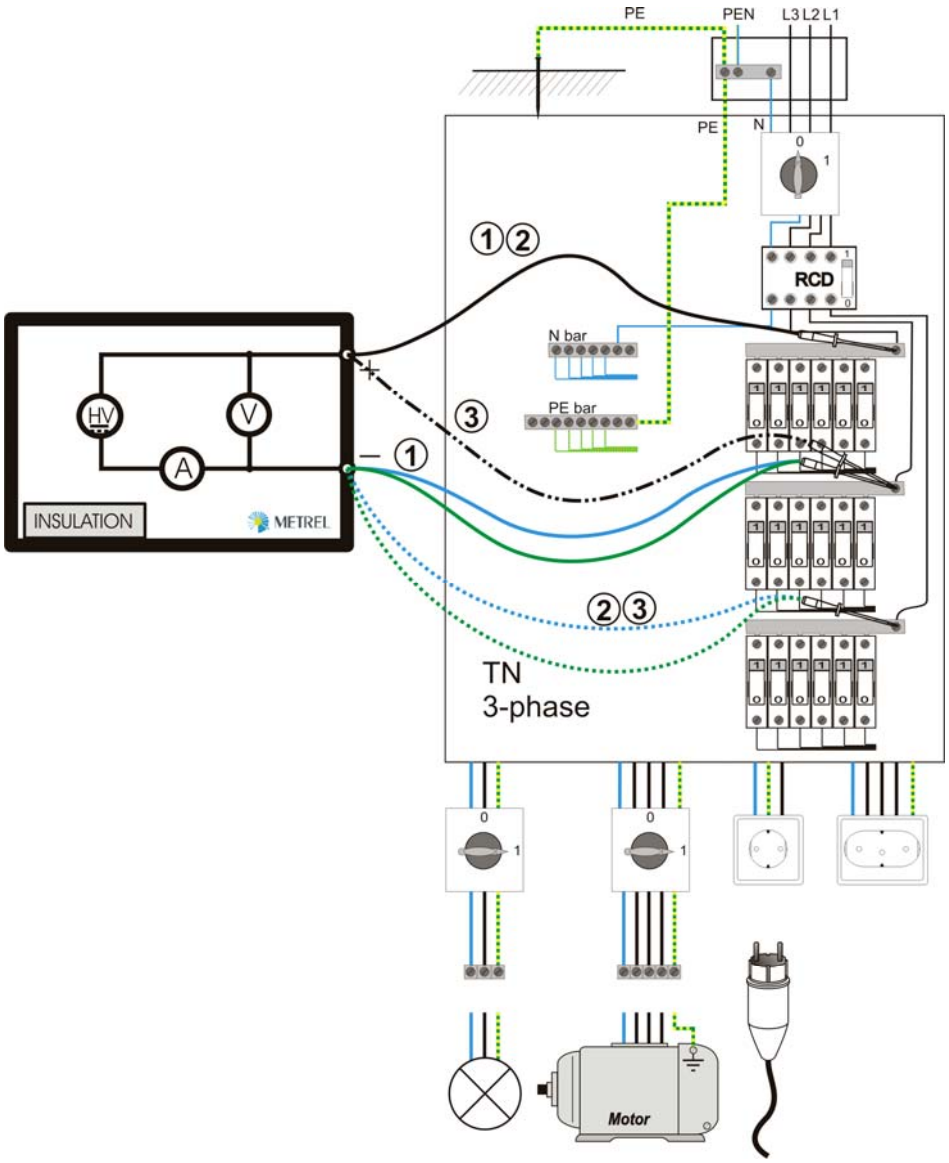


Bild30: *An der Schalttafel ausgeführte vollständige Isolationsprüfung Phase-Phase*

Hinweis von METREL:

- Die Installationstester von METREL, Eurotest AT, XA, verfügen über die eingebaute Funktion „Insulation ALL“ (gesamte Isolation). Mit dieser Funktion kann eine Isolationsprüfung über drei Eingänge (L-N, L-PE, N-PE oder L1-L2, L1-L3, L2-L3) in einem Schritt durchgeführt werden. Das ist ein sehr zeitsparendes Funktionsmerkmal, insbesondere, wenn die Isolation an Steckdosen gemessen wird (siehe Bild 29).
- Die Installationstester von METREL, Eurotest AT, XA, enthalten den Parameter „Type of insulation test“ (Art der Isolationsprüfung). Die Optionen sind:
  - L-N, L-PE, N-PE, L-PE N-PE (empfohlen, falls Lasten zwischen L und N nicht abgetrennt werden können),
  - L-N, L-PE (empfohlen, falls die Verbindung N-PE nicht unterbrochen werden kann),
  - ALL (Alle).

Mit der Einstellung dieser Parameter wird die Erstellung des Prüfprotokolls vereinfacht.

6.2.2 Durchgangsprüfung von Schutzleitern und Potentialausgleichsverbindungen

Umfang der Prüfung

Durchgang der Hauptschutzleiter
Schutzleiter verbinden freiliegende leitende Teile mit Erdungsvorrichtungen. Ein geeigneter PE-Potentialausgleich stellt eine sichere Verbindung freiliegender leitender Teile mit der Erdungsvorrichtung sicher. Die Hauptschutzerdverdrahtung besteht aus:

- Schutzleitern, die PE-Anschlüsse (Steckdosen, feste Anschlusspunkte, Elektrogeräte) mit der PE-Hauptschiene verbinden,
- Schutzleitern, die äußere leitende Teile (Wasserinstallation, Antennen, Heizsystem usw.) mit der PE-Hauptschiene verbinden.

Die Durchgangsprüfung bestätigt, dass die PE-Anschlüsse und die zusätzlichen Potentialausgleichsverbindungen funktionieren. PE-Leiter sind im Ersatzschaltbild in Bild 15 durch die Parameter R_{PEd}, R_{PEh} und R_{PES} dargestellt.

Potentialausgleichsverbindungen
Potentialausgleichsverbindungen stellen eine niedrige Berührungsspannung zwischen zwei Metallteilen sicher, die gleichzeitig berührt werden können.
Potentialausgleichsverbindungen sind einzurichten:

- zwischen freiliegenden leitenden Teilen, die über unterschiedliche Schutzleiterverbindungen mit Erde verbunden sind,
- falls sich in einem geringeren Abstand als 2,5 m ein anderes freiliegendes leitendes Teil befindet,
- falls $R_{PEhaupt}$ zu hoch ist (siehe Gl. 18),
- in Badezimmern Duschen, Schwimmbädern und an ähnlichen Orten werden Potentialausgleichsverbindungen standardmäßig eingerichtet (IEC 60364-701).

Zusätzliche Potentialausgleichsverbindungen sind im Ersatzschaltbild in Bild 15 mit den Parametern R_{PES} dargestellt.

Bezugsdokumente:
Vorgehensweise: IEC 60364-6 (Kapitel 61.3.2, Tabelle 6A)
Messgeräte: IEC 61557-4

Messprinzipien / Grenzwerte:

Problem der parallelen Pfade
Vor der Ausführung einer Durchgangsprüfung muss überprüft werden, ob es keine zusätzlichen parallelen Pfade zwischen dem Prüfort und der PE-Schiene gibt. Wenn solche Pfade bestehen, sollten sie nicht als Teil des PE-Potentialausgleichssystems benutzt werden.
Parallele leitende Pfade können sehr problematisch sein, insbesondere, wenn sie nicht gewollt Teil des elektrischen Systems sind:

- Ihretwegen kann die tatsächliche PE-Verbindung nicht korrekt überprüft werden.
- Sie können den Widerstand ändern, oder sie können sogar ohne Warnung entfernt werden!

Beispiel
Ein typisches Beispiel, das viele Probleme verursacht, besteht in alten Anlagen, in denen das Rohrsystem unkontrolliert mit der Schutzleiterverdrahtung verbunden ist. Wenn die Rohre durch Einbau von Kunststoffteilen unterbrochen werden und der tatsächliche Schutzleiter nicht intakt ist, führt das zu einem ernsten Sicherheitsfehler.
Allgemein sollten zumindest bei der Erstüberprüfung das Vorhandensein und die Vollständigkeit der Schutzleiter sehr gründlich durch Inspektion und Messung überprüft werden.
Wenn unbekannte parallele Pfade problematisch sein könnten, ist es die beste Lösung, während des Tests die gemessene Verbindung an der PE-Schiene zu lösen.

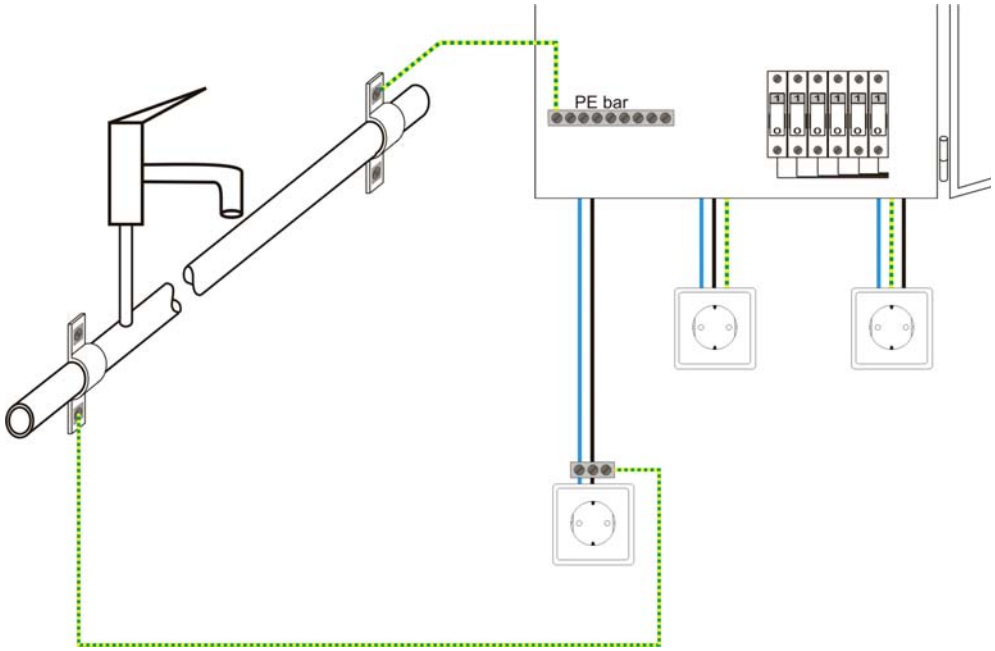


Bild 31: *Beispiele für unerlaubte parallele Potentialausgleichspfade*

Hinweis:
Das Problem paralleler Pfade wird in verschiedenen Ländern unterschiedlich gehandhabt. Zum Beispiel muss in Großbritannien der Schutzleiter während des Tests von der Anlage getrennt werden. Für die Erstüberprüfungen sind alternative Prüfmethoden überhaupt nicht erlaubt.

6.2.2.1 Standard-Durchgangsprüfung

Die Standard-Durchgangsmessung wird zwischen der PE-Hauptsammelschiene und freiliegenden Metallteilen (Schutzleiterkontakte an Steckdosen, Schalter, feste Verbindungen, Schutzleiterverbindung der Wasserinstallation, Gemeinschaftsantenne, Anschluss des Blitzschutzes, Außenantenne usw.) durchgeführt.
Allgemein soll der Widerstand so niedrig wie möglich sein und mit Länge und Querschnitt des Leiters übereinstimmen.

$$R_{LEIT} = \rho \frac{l}{A} [\Omega] \qquad \textit{Gl. 15}$$

R_{LEIT}..... Widerstand des Leiters

ρ..... Spezifischer Widerstand des Leiterwerkstoffs (für Cu: 0,0172 Ωmm^2/m)
l..... Länge des Leiters [m]
A ..... Querschnitt des Leiters [mm^2].

Tabelle 33 in Anhang B enthält typische Leiterwiderstände für unterschiedliche Längen und Querschnitte.
Da die genaue Berechnung des Leiterwiderstands relativ schwierig ist, werden 1,0 Ω, 2,0 Ω oder ähnliche Werte oft als Grenzwerte betrachtet.
Hinweise:

- Wenn der Widerstand höher ist als auf Grundlage von Querschnitt und Länge des Leiters zu erwarten, kann dies das Ergebnis eines schwerwiegenden Verbindungsproblems sein und muss überprüft werden!
- Wenn der Widerstand niedriger ist als auf Grundlage von Querschnitt und Länge des Leiters zu erwarten, kann dies das Ergebnis eines unbekannten parallelen Pfades sein und muss überprüft werden!
- Für die Standardmessungen werden (manchmal sehr lange) Prüfleitungsverlängerungen benutzt. In diesem Fall muss der Widerstand der Messleitungen vom Ergebnis abgezogen werden. (Dieses Funktionsmerkmal ist gewöhnlich in Integrationstestern enthalten.)
- *Das Problem der parallelen Pfade muss beachtet werden.*

6.2.2.2 Durchgangsmessung in TN-Netzen – der Schleifentest N-PE

In TN-Netzen sind die N- und PE-Leiter an der NPE-Schiene am Eingang der Anlage (TN-C, TN-C-S) oder an der Energiequelle (TN-S) verbunden.
Das Messen der Widerstände zwischen den N- und PE-Anschlüssen (oft als N_PE-Schleifenwiderstand bezeichnet) am Prüfort kann die Durchgangsprüfung vereinfachen. Man erhält die folgenden Ergebnisse:

In TN-C-S- und TN-C-Netzen:

$$R_{NPE} = R_{Nh} + R_{PEh}\,[\Omega] \qquad \textit{Gl. 16}$$

In einem TN-S-Netz:

$$R_{NPE} = R_{Nh} + R_{PEh} + R_{Nd} + R_{PEd}\,[\Omega] \qquad \textit{Gl. 17}$$

R_{NPE}..... N-PE-Schleifenwiderstand
R_{NH}, R_{ND},R_{PEH}, R_{PED}.... Teile des N-PE-Schleifenwiderstands (siehe Bild 15)

Erwartete Ergebnisse:

- Wenn die Querschnitte der N- und PE-Leiter gleich sind, ist das erwartete Ergebnis ca. doppelt so groß wie das Ergebnis nach Gl. 16.
- Wenn der Querschnitt der PE-Leiters niedriger ist als der des N-Leiters, ist das erwartete Ergebnis etwas höher als das Ergebnis nach Gl. 17.

Diese Methode ist einfacher als die Standardmethode, weil die langen Prüfleitungsverlängerungen (siehe Bild 32) von der PE-Hauptschiene zum geprüften Verbindungspunkt nicht benötigt werden.

Nachteile dieser Methode sind:

- Im Falle paralleler Pfade sind die Ergebnisse falsch.
- Zusätzliche Verbindungen zwischen den N- und PE-Leitern in der Anlage beeinflussen das Ergebnis ebenfalls.
- Die nationalen Vorschriften müssen daraufhin überprüft werden, ob diese Messung erlaubt ist/empfohlen wird.

Hinweis von METREL:
Die Installationstester von METREL, Eurotest AT, XA, können die Schleifenprüfung N_PE zwischen den Prüfanschlüssen N und PE des Instruments durchführen. Das ermöglicht das Prüfen mit dem Steckerprüfkabel an Steckdosen.

6.2.2.3 Prüfung der Potentialausgleichsverbindung

Die Potentialausgleichsverbindung muss ausgeführt werden, wenn:

$$R_{PEhaupt} \cdot I_a > U_{B\lim} \qquad \textit{Gl. 18}$$

$R_{PEhaupt}$ ..... Durchgangswiderstand der PE-Hauptpotentialausgleichsverbindung
U_{Blim} ..... Grenzwert der Berührungsspannung (gewöhnlich 50 V)
I_a ..... Ein Strom, der die Trennung von der Versorgung innerhalb der Nennzeit bewirkt. Wenn ein RCD am Eingang der Anlage installiert ist, dann $I_a = I_{\Delta N}$

Die Messung wird zwischen zwei freiliegenden Metallteilen mit geringerem Abstand als 2,5 m durchgeführt. Die folgende Bedingung muss erfüllt sein:

$$R_{EB} < \frac{U_{B\lim}}{I_a} \qquad \textit{Gl. 19}$$

R_{EB}..... Widerstand zwischen potentialausgeglichenen leitenden Teilen

Anschlussschaltbilder

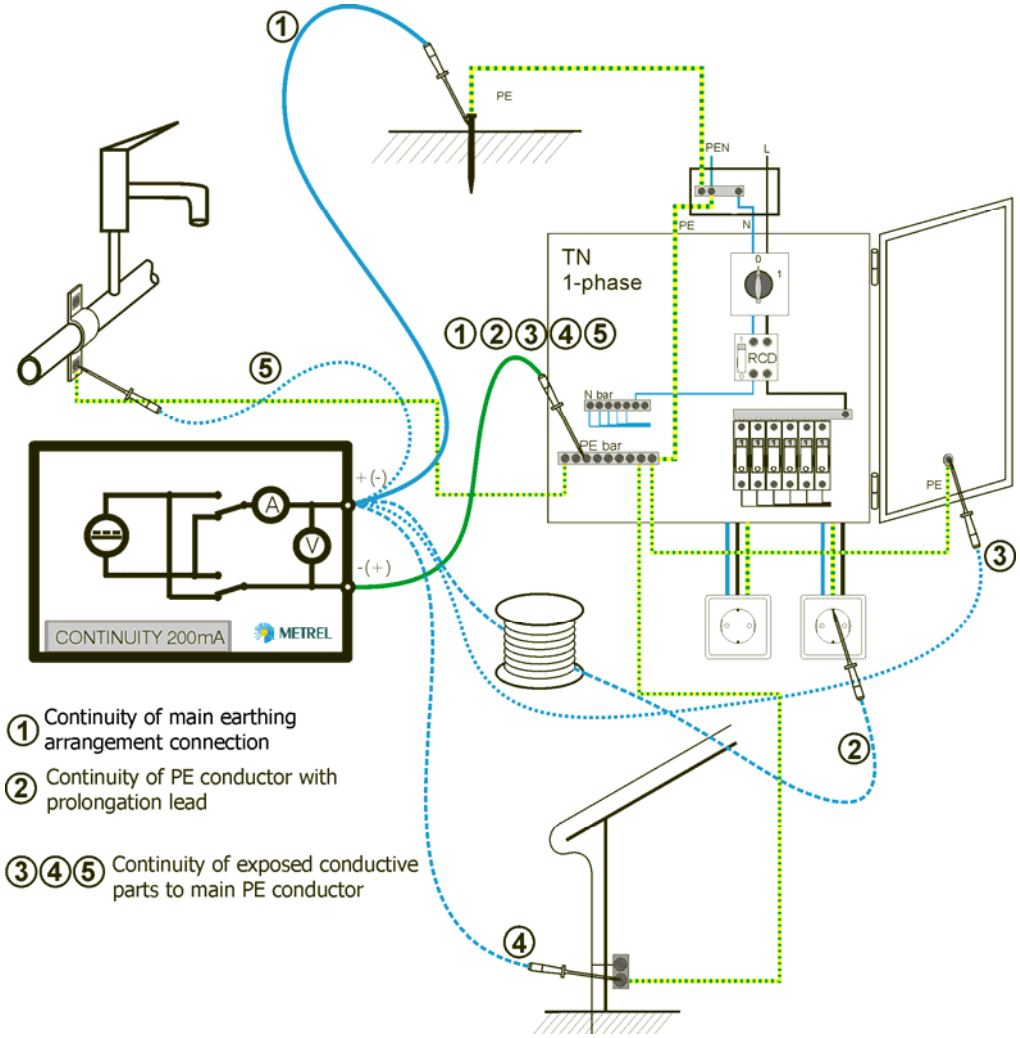


Bild 32: *Standard-Durchgangsprüfung*

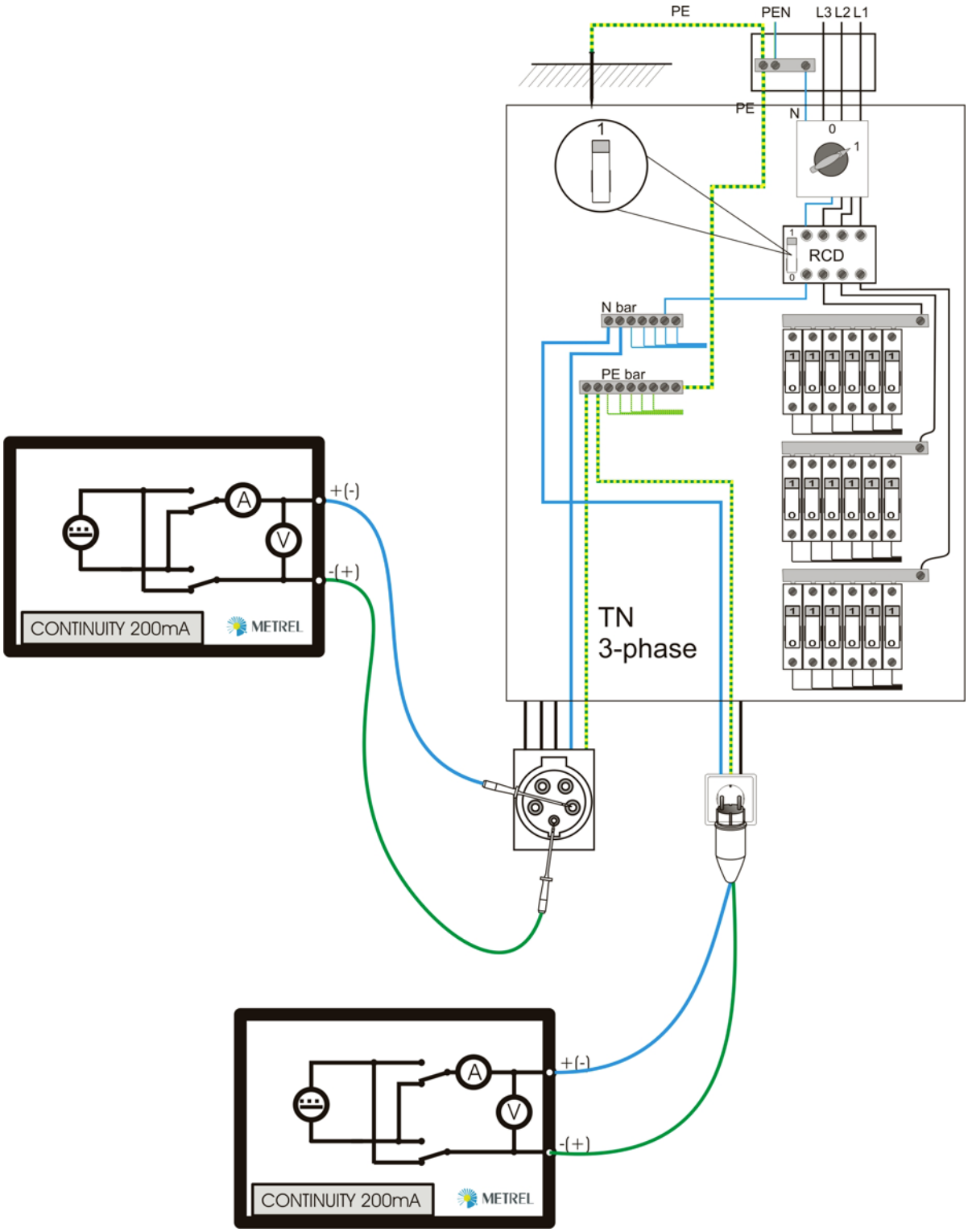


Bild 33: *NPE-Schleifenprüfung*

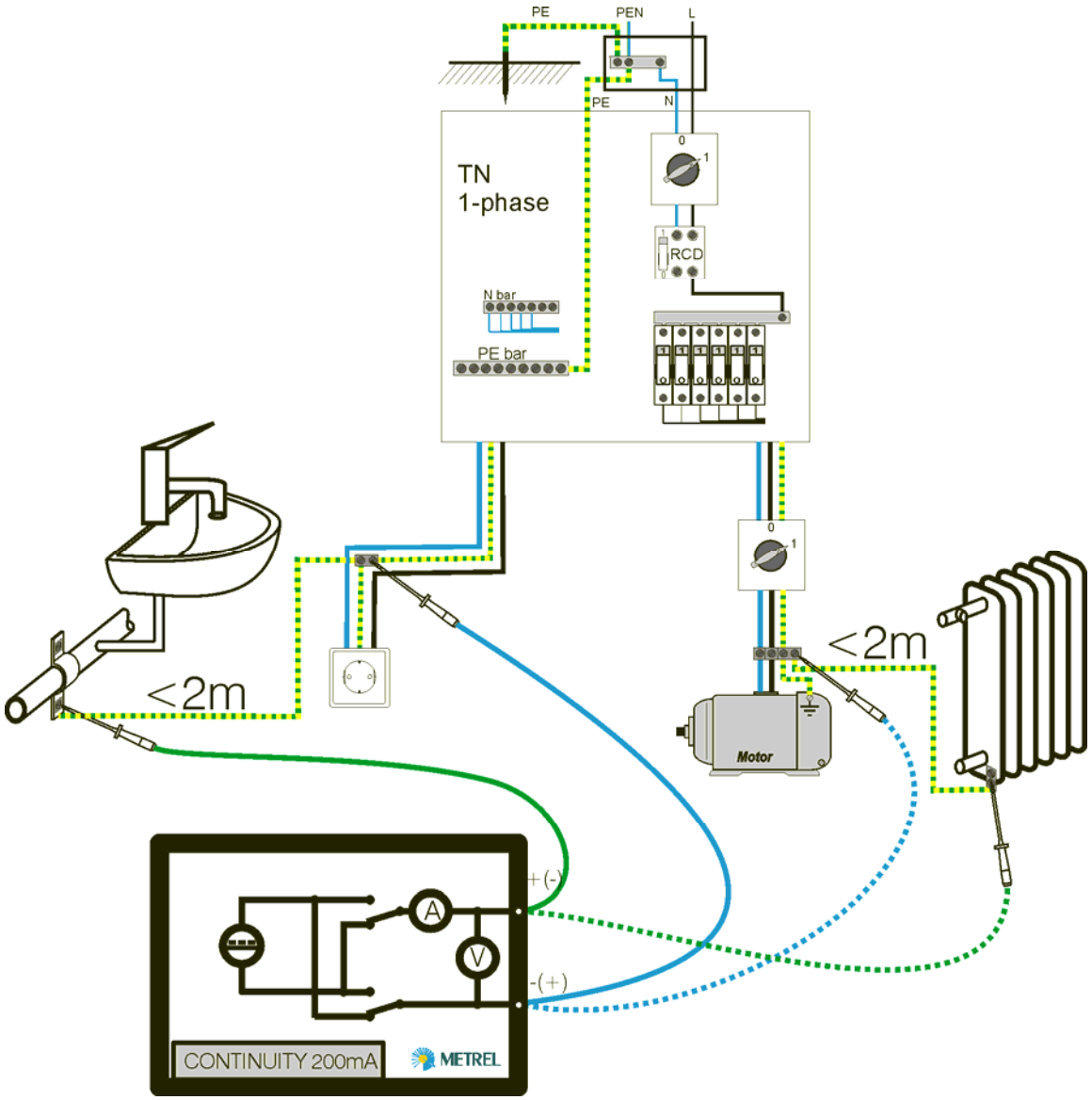


Bild 34: *Potentialausgleichsverbindungen*

6.2.3 Erdungswiderstand

Umfang der Prüfung

Das Erden freiliegender leitender Teile stellt sicher, dass die an ihnen anliegende Spannung im Fehlerfall unter dem Gefahrenpegel liegt. Im Ersatzschaltbild in Bild 15 stellen R_{EH} und R_{ED} die Erdungswiderstände dar.

Haupterdung

Die Anlage / der Verteilerpunkt / die Energiequelle werden über die so genannte Haupterdung geerdet. Die Erdung wird über Metallelektroden hergestellt, die im Boden versenkt sind. Größe und Komplexität der Erdungsanlage hängt von der Anwendung ab (Größe des Objekts, spezifischer Widerstand des Erdbodens, maximal zulässiger Erdungswiderstand usw.).

In TN-Anlagen wird die Erdung an der Stromquelle und/oder an den Verteilungspunkten vorgenommen. Die Erdungswiderstände sind gewöhnlich sehr niedrig (unter 1 Ω).

TT-Anlagen haben ihre eigene Haupterdung. Die Widerstände sind gewöhnlich höher als in TN-Netzen (von wenigen Ω bis zu mehreren hundert Ω). Daher können bei relativ niedrigen Fehlerströmen gefährliche Fehlerspannungen und Körperströme auftreten. Aus diesem Grund enthalten TT-Netze gewöhnlich einen zusätzlichen RCD-Schutz.

Blitzschutzsysteme

Eine weitere Anwendung der Erdung sind Blitzschutzsysteme. Die Blitzableitstäbe eines Blitzschutzsystems müssen relativ niedrige Widerstände haben (zwischen 1 Ω und 10 Ω), um die Anlage / das Gebäude vor einem direkten Blitzeinschlag zu schützen. Blitzschutzsysteme können sehr groß sein

Was ist Erdwiderstand?

Eine im Boden versenkte Erdungselektrode hat einen bestimmten Widerstand, der von der Größe und der Oberflächenbeschaffenheit der Erdungselektrode (Oxide auf der Metalloberfläche) und dem spezifischen Bodenwiderstand um die Elektrode abhängt.
Der Erdungswiderstand ist nicht in einem Punkt konzentriert, sondern um die Elektrode verteilt.
Wenn ein Fehlerstrom in die Erdungselektrode fließt, tritt eine typische Spannungsverteilung um die Elektrode auf (der „Spannungstrichter“). Man erkennt, dass sich der größte Teil des Spannungsabfalls direkt um die Erdelektrode konzentriert (siehe Bild 35).
Bild 18 zeigt, wie Fehler-, Schritt- und Berührungsspannungen als Ergebnis von Fehlerströmen auftreten, die durch die Erdungselektroden in den Boden abfließen.
Die Fehler- und Berührungsspannungen sind in Kapitel 4.2.2.1 beschrieben.
In der Nähe von Erdungselektroden oder im Falle großer Fehlerströme in den Boden muss auch die Schrittspannung in Betracht gezogen werden.

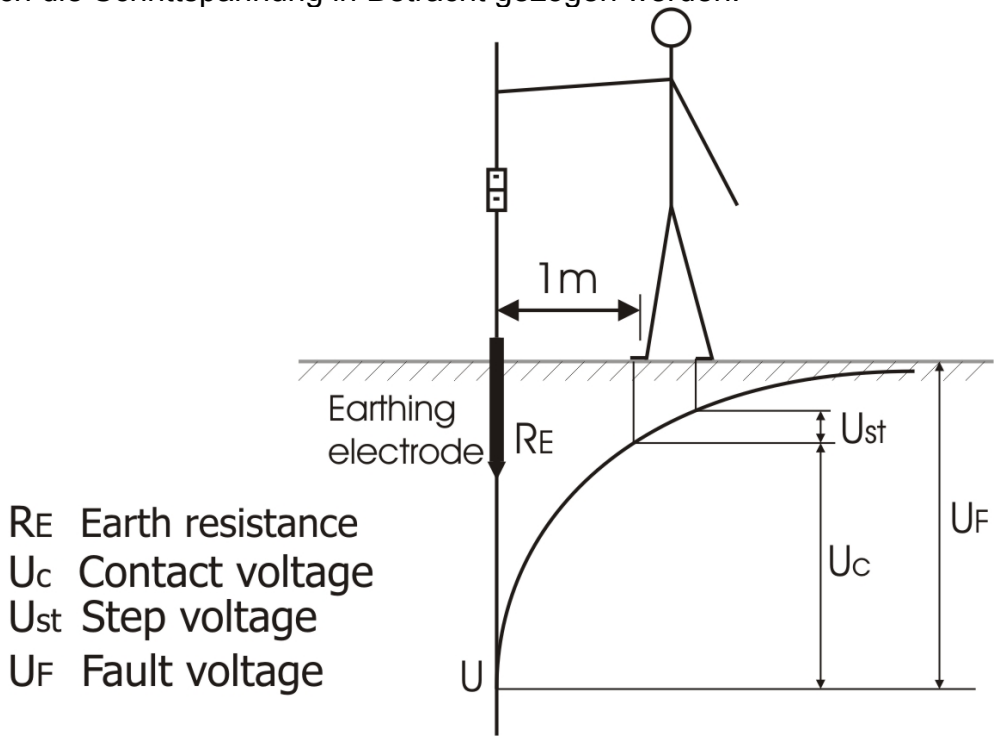


Bild 35: *Fehler-, Berührungs- und Schrittspannungen an der Erdungselektrode*

Bezugsdokumente:
Grenzwerte, Vorgehensweise: IEC 60364-6 (Kapitel 61.3.6.2),
Messgeräte: IEC 61557-5

Messprinzipien / Grenzwerte:
Das Messen des Erdungswiderstands kann eine sehr komplexe Aufgabe sein. Erdungssysteme können groß sein; viele örtliche Systeme können unter- oder oberirdisch usw. untereinander verbunden sein. Daher ist die Wahl einer zweckmäßigen Prüfmethode und des geeigneten Prüfgeräts sehr wichtig. Die wichtigsten Prüfmethoden werden später in diesem Kapitel beschrieben.

Grenzwiderstand
Für die Haupterdung muss die folgende Bedingung erfüllt sein:

$$R_{EH} < \frac{U_{B\,\mathrm{lim}}}{I_a} \qquad \textit{Gl. 20}$$

R_{EH}..... Haupterdungswiderstand
U_{Blim} ..... Grenzwert der Berührungsspannung (gewöhnlich 50 V)
I_a ..... Strom, der die Trennung von der Versorgung innerhalb der Nennzeit bewirkt. Wenn ein RCD am Eingang der Anlage installiert ist, dann $I_a = I_{\Delta N}$.

Einzelne Stäbe eines Blitzschutzsystems müssen einen relativ niedrigen Widerstand besitzen (zwischen 1 Ω und 10 Ω).

Messung des Gesamterdungswiderstands sowie selektiver Erdungswiderstände
Große Erdungssysteme und Blitzschutzanlagen haben mehr als einen Erdungspunkt. In diesem Fall müssen die einzelnen Erdungspunkte geprüft werden.
Das Modell eines Erdungssystems mit mehreren Erdungspunkten kann durch eine einfache Verbindung von parallel geschalteten Widerständen dargestellt werden. Jeder Widerstand repräsentiert den Erdungswiderstand eines Erdungspunkts. Nach diesem Modell

- ist der Gesamterdungswiderstand (Global, System) die Parallelschaltung von (R_{E1}, R_{E2}, R_{E3}, R_{E4} usw.),
- sind die Einzelerdungswiderstände (Teil, Selektiv) $R_{E1,}$ $R_{E2,}$ $R_{E3,}$ R_{E4} usw.

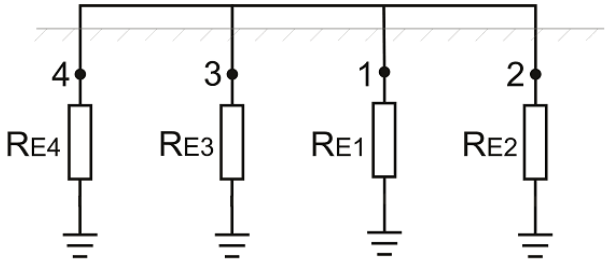


Bild 36: *Ersatzschaltbild eines Erdungssystems mit mehreren Erdungspunkten*

6.2.3.1 Zweidrahtprüfung des Erdungswiderstands, interner Generator, keine Sonden

Die Zweidrahtprüfung kann verwendet werden, wenn ein gut geerdeter Hilfsanschluss zur Verfügung steht (z. B. Quellen-/Verteilungserdungen über den Nullleiter). Der Hauptvorteil dieser Methode ist es, dass für die Prüfung keine Prüfsonden benötigt werden. Die Methode ist schnell und relativ zuverlässig.

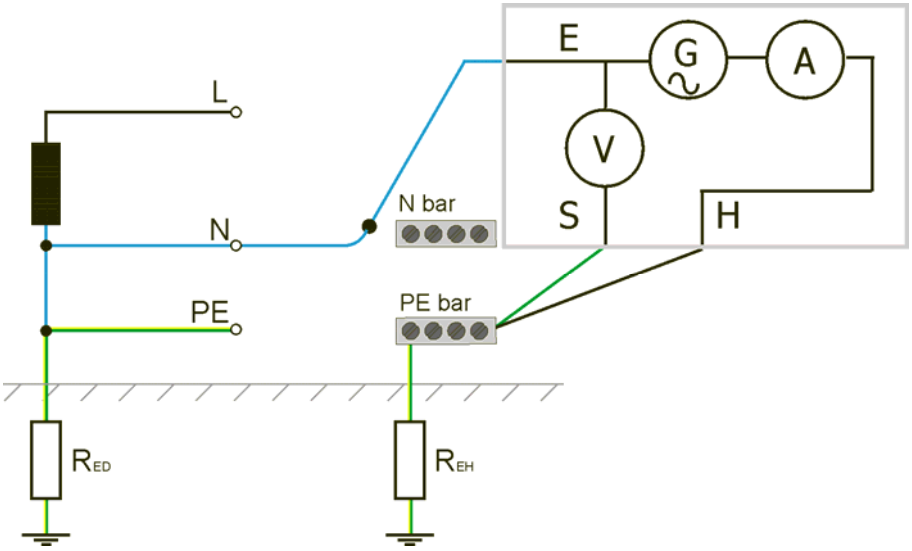


Bild 37: *Gesamterdungsmessung – Zweidrahtmessung*

In dem Beispiel in Bild 37 wird der folgende Widerstand gemessen:

$$R_{ERD\_2D} = R_{Nd} + R_{Eh} + R_{Ed}\ [\Omega] \qquad \textit{Gl. 21}$$

R_{ERD_2D}.....*Ergebnis der Zweidrahtprüfung des Erdungswiderstands*

Gewöhnlich sind die Widerstände R_{Ed} und R_{Nd} viel niedriger als R_{Eh}. In diesem Fall kann das Ergebnis als $\approx R_{Eh}$ angesehen werden.

Hinweise:

- Anwendbar bei TT-Netzen, wenn der gemessene Erdungswiderstand der Anlage höher ist als der des (gut geerdeten) Hilfsanschlusses.
- Nicht anwendbar bei TN- und IT-Netzen!
- Anwendbar in städtischen Bereichen, wenn nicht genügend Platz für Prüfsonden vorhanden ist.
- Anwendbar in Bereichen, in denen verschiedene örtliche und Haupterdungen miteinander verbunden sind und dadurch das Erdungssystem sehr groß machen.
- Keine Notwendigkeit, Prüfsonden zu verwenden.

6.2.3.2 Erdschleifenprüfung, externe Quelle, keine Sonden

In TT-Netzen mit Schleifenwiderstandsprüfung nach IEC 61557-3 wird der folgende Schleifenwiderstand gemessen:

$$R_{SCHL} = R_{Lh} + R_{Eh} + R_{Ed} + R_T \text{ [Ω]} \qquad \textit{Gl. 22}$$

Wenn der Gesamterdwiderstand R_{EH} höher ist als der Widerstand R_{ED} und der Rückpfad (Widerstand der L-Leiter, Sekundärwicklung des Leistungstransformators), kann als Ergebnis ≈ R_{EH} angesehen werden.
Weitere Informationen über die Fehlerschleifenprüfung finden Sie in Kapitel 6.2.4.

Hinweise:

- Anwendbar bei TT-Netzen, bei denen der gemessene Erdungswiderstand der Anlage höher ist als der des (gut geerdeten) Hilfsanschlusses.
- Nicht anwendbar bei TN- und IT-Netzen!
- Anwendbar in städtischen Bereichen, wenn nicht genügend Platz für Prüfsonden vorhanden ist.
- Anwendbar in Bereichen, in denen verschiedene örtliche Erdungen miteinander verbunden sind und dadurch das Erdungssystem sehr groß machen.
- Keine Notwendigkeit, Prüfsonden zu verwenden.

6.2.3.3 Drei-/Vierdrahtprüfung des Erdungswiderstands, interner Generator, zwei Sonden

Die Dreidrahtprüfung ist die Standardmethode zum Prüfen des Erdungswiderstands. Sie ist die einzige Wahl, wenn kein gut geerdeter Hilfsanschluss verfügbar ist. Die Messung wird mit zwei Erdungssonden durchgeführt.
Der Nachteil bei der Verwendung von drei Drähten ist es, dass sich der Kontaktwiderstand des Anschlusses E zum Ergebnis addiert.

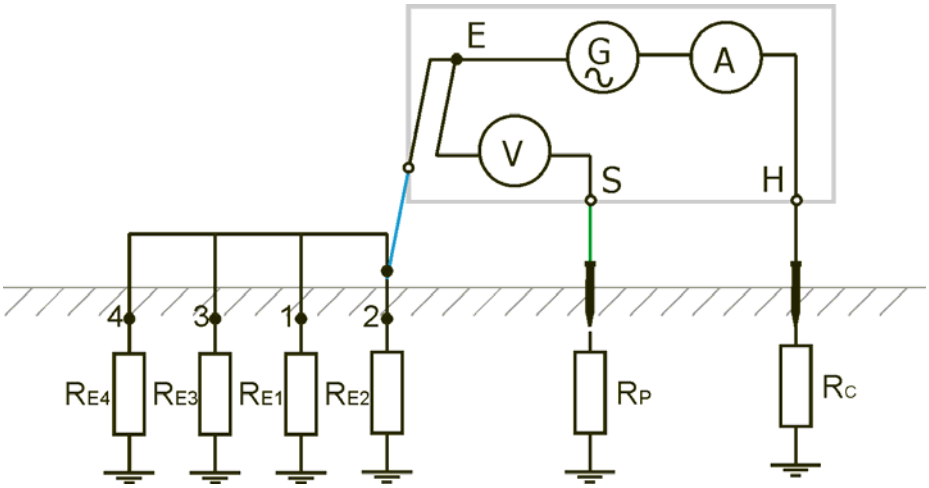


Bild 38: *Gesamterdungsmessung (3-Draht) – Standardmethode*

Der Vorteil bei der Verwendung des Vierdrahtsystems ist es, dass die Leitungs- und Kontaktwiderstände zwischen dem Messanschluss E und dem Prüfling die Messung nicht beeinflussen.

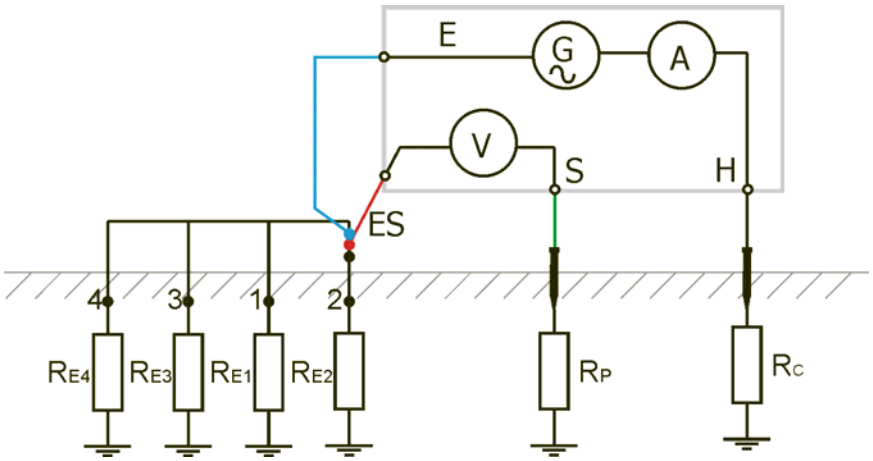


Bild 39: *Gesamterdungsmessung (4-Draht) – Standardmethode*

In dem Beispiel in Bild 39 wird der folgende Widerstand gemessen:

$$R_{EH} = U_V / I_{gen}$$ *Gl. 23*

$$I_{gen} = I_{RE1} + I_{RE2} + I_{RE3} + I_{RE4}$$ *Gl. 24*

U_V ..... Spannungsabfall am Erdungswiderstand, gemessen zwischen S und ES
I_{gen}..... Prüfstrom des Messgeräts

Hinweise:

- Die Methode ermöglicht genaue Ergebnisse von 0 Ω bis zu mehreren 1000 Ω.
- Die Methode eignet sich nicht für sehr große oder miteinander verbundene Erdungssysteme, weil die Prüfsonden dann in sehr großen Entfernungen vom Messobjekt angebracht werden müssten.
- Die Positionierung der Prüfsonden wird später in diesem Kapitel beschrieben.

- Beim Messen einzelner Erdungswiderstände muss der gemessene Stab (Erdungspunkt) vom System getrennt werden.
- Bei TN-Netzen muss der ankommende PE- bzw. PEN-Leiter abgetrennt werden!

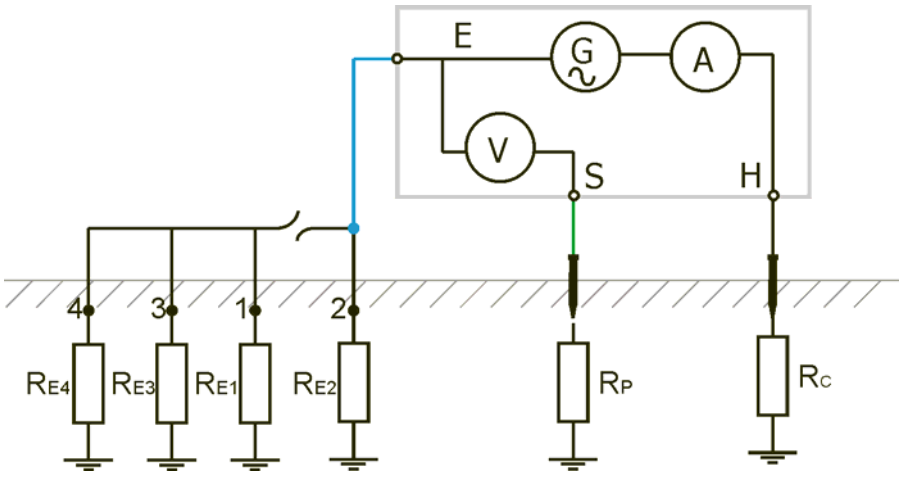


Bild 40: *Selektive Erdungsmessung – Standardmethode*

$$I_{gen} = I_{RE2}$$ *Gl. 25*

Gemäß Gl. 25 fließt der Prüfstrom nur durch den Teilwiderstand R_{E2}; in diesem Fall wird R_{E2} gemessen.

Hinweise:

- Genaue Ergebnisse ab 0 Ω, keine Einschränkung bezüglich der Anzahl der Punkte.
- Nicht geeignet für sehr große oder miteinander verbundene Erdungssysteme, weil die Prüfsonden dann in sehr großen Entfernungen vom Messobjekt angebracht werden müssten.
- Die Abtrennung ist relativ kompliziert; Prüfmethoden mit Stromzangen sind einfacher.
- Die Positionierung der Prüfsonden wird später in diesem Kapitel beschrieben.

6.2.3.4 Erdungswiderstandsprüfung mit Stromzange und zwei Sonden

Diese Messung ist anwendbar zum Messen des Erdungswiderstands einzelner Erdungspunkte in einem Erdungssystem. Die Erdungsstäbe müssen während der Messung nicht abgetrennt werden.

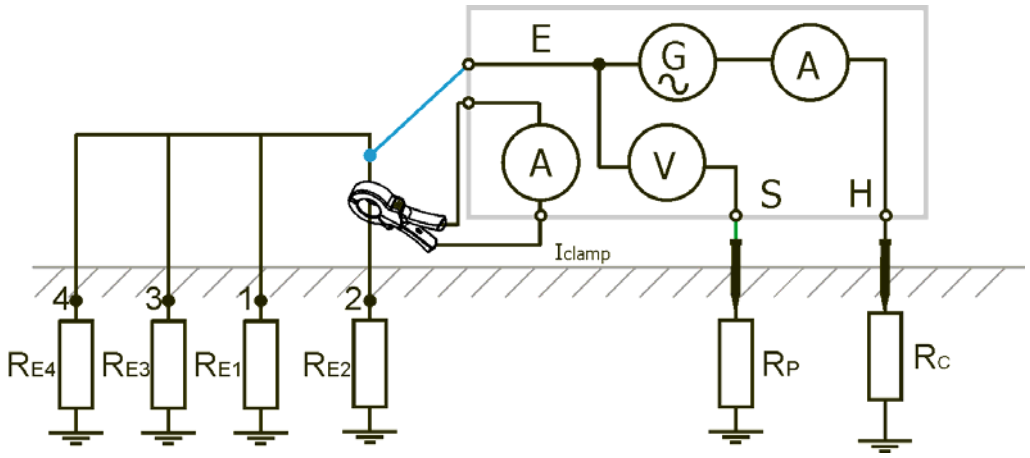


Bild 41: *Selektive Erdungsmessung – Methode mit einer Stromzange*

In dem Beispiel in Bild 41 wird der folgende Widerstand gemessen:

$$R_{E2} = \frac{U_V}{(I_{Zange} \cdot N)} = \frac{U_V}{I_{RE2}}$$ *Gl. 26*

$$I_{Zange} = \frac{\left(R_{E1} \| R_{E2} \| R_{E3} \| R_{E4} \ldots\right)}{R_{E2}} \cdot I_{gen}$$ *Gl. 27*

I_{Zange} ..... Strom durch die Zange
N..... Zangenstromübersetzungsverhältnis
I_{gen}..... Prüfstrom des Messgeräts

Der Teilstrom I_{RE2} (siehe Bild 41) wird mit einer Stromzange gemessen.

Hinweise:

- Nicht geeignet für sehr große oder miteinander verbundene Erdungssysteme, weil die Prüfsonden in diesem Fall in sehr großen Entfernungen vom Messobjekt angebracht werden müssten.
- In großen Systemen ist der gemessene Partialstrom nur ein kleiner Anteil des Prüfstroms I_{gen}. Die Messgenauigkeit für kleine Ströme und die Unempfindlichkeit gegenüber Störströmen ist zu beachten! Die Installationstester von METREL zeigen in diesem Fall eine entsprechende Warnung an.
- Bei Systemen mit mehr als einigen 10 Stäben ist diese Methode nicht zu empfehlen.
- Die Methode hat keine wirklichen Vorteile gegenüber dem Prüfsystem mit zwei Stromzangen.
- Die Positionierung der Prüfsonden wird später in diesem Kapitel beschrieben.

6.2.3.5 Erdungswiderstandsprüfung mit zwei Stromzangen

Dieses Messsystem wird zum Messen des Erdwiderstands von Erdungsstäben, Kabeln, erdverlegten Verbindungen usw. benutzt. Die Messmethode erfordert eine geschlossene Schleife, um Prüfströme erzeugen zu können.

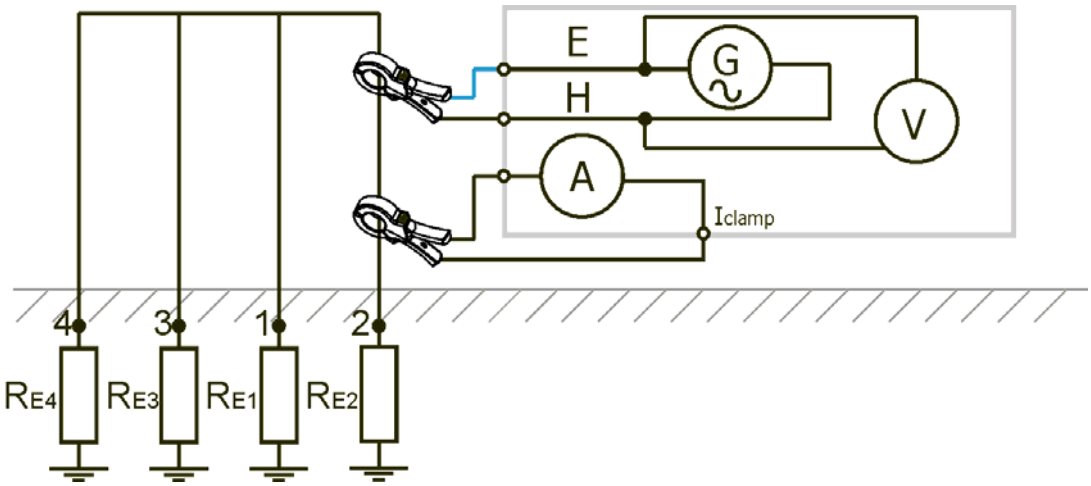


Bild 42: *Gesamterdungswiderstandsmessung mit zwei Stromzangen*

Die Treiberzange injiziert eine Spannung in das Erdungssystem. Die injizierte Spannung erzeugt einen Prüfstrom in der Schleife.
Gemäß dem Beispiel in Bild 42 wird der einzelne Erdungswiderstand gemessen:

$$R_{E2} + \left(R_{E1} \| R_{E3} \| R_{E4} \ldots\right) = \frac{U_{\text{Generator}} \frac{1}{N}}{I_{\text{Zange}}} \qquad \textit{Gl. 28}$$

$U_{Generator}$ .. Interne Spannungsquelle des Prüfgeräts, treibende Spannung für die Treiberzange
I_{Zange}..... Strom durch die Fühlerzange
N..... Übersetzungsverhältnis der Treiberzange

Wenn der gesamte Erdwiderstand der parallelgeschalteten Elektroden R_{E1}, R_{E3} und R_{E4} viel niedriger ist als der Widerstand der geprüften Elektrode R_{E2}, kann das Ergebnis als $\approx R_{E2}$ angesehen werden.
Andere Einzelwiderstände können durch Umfassen anderer Elektroden mit den Stromzangen gemessen werden.

Hinweise:

- Anwendbar in komplexen Erdungssystemen mit zahlreichen parallelen Erdungselektroden.
- Anwendbar zum Messen des Erdungswiderstands in Transformatorstationen.
- Besonders geeignet für städtische Bereiche.
- Kein Abtrennen der gemessenen Elektroden.
- Anwendbar zum Messen von selektiven und Haupterdungswiderständen.
- Sehr schnelle Messung; keine Notwendigkeit, Messsonden zu setzen und die gemessenen Elektroden abzutrennen.
- Sehr genau bei Widerständen unter 10 Ω. Der Messbereich ist auf einige 10 Ω beschränkt. Bei höheren Werten fällt der Prüfstrom auf wenige mA. Die Messgenauigkeit für kleine Ströme und die Unempfindlichkeit gegenüber Störströmen ist zu beachten! Die Installationstester von METREL zeigen in diesem Fall entsprechende Warnungen an.
- Der Minimalabstand zwischen Treiber- und Fühlerzange beträgt mindestens 30 cm (wenn sie nicht abgeschirmt sind).

Funktionalität und Platzierung der Prüfsonden

Für einen Standarderdungswiderstand werden zwei Prüfsonden (Spannung und Strom) benutzt. Wegen des Spannungstrichters ist es wichtig, dass die Prüfelektroden korrekt gesetzt werden. Weitere Informationen über in diesem Dokument beschriebenen Prinzipien finden Sie im Handbuch: *Grounding, bonding, and shielding for electronic equipments and facilities* (Erdung, Potentialausgleich und Abschirmung für elektronische Geräte und Anlagen).

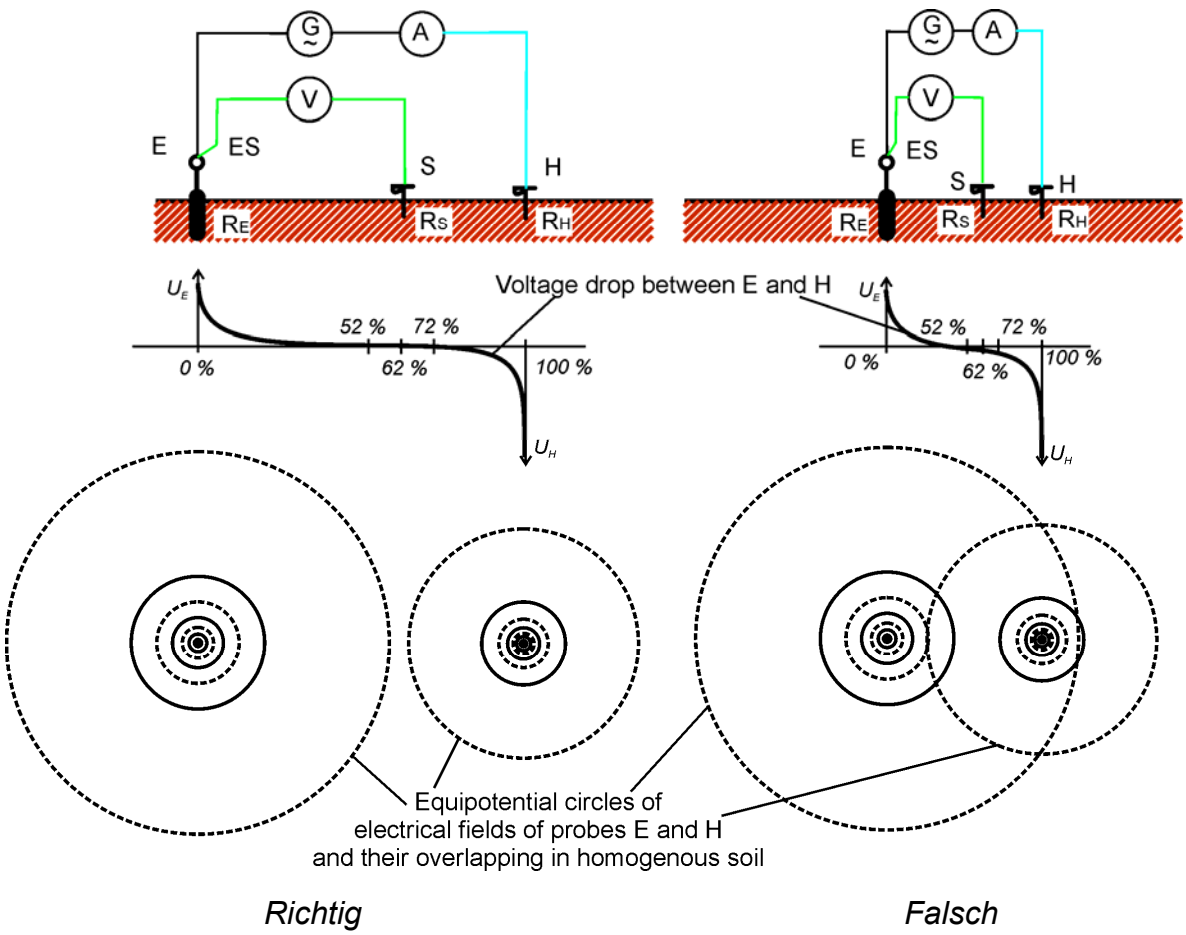
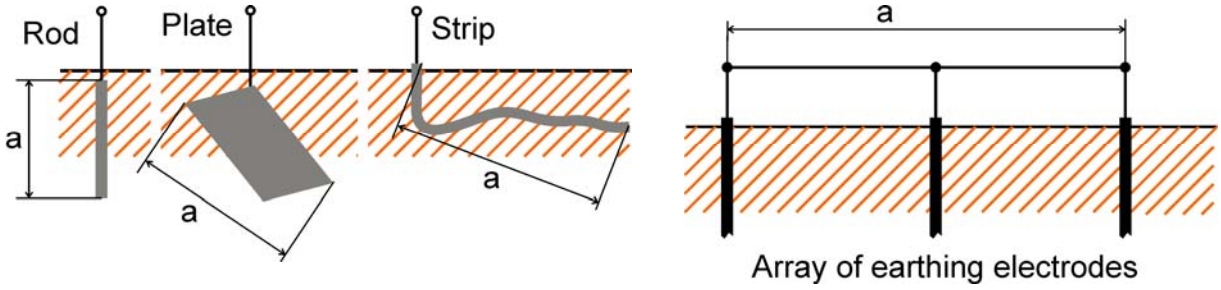


Bild 43: *Anordnung von Sonden*

Sonde E ist mit der Erdungselektrode (Stab) verbunden.
Sonde H dient dazu, die Messschleife zu schließen. Die Spannung zwischen Sonde S und E ist der Spannungsabfall am gemessenen Widerstand. Eine korrekte Platzierung der Sonden ist sehr wichtig. Wenn man die Sonde S zu nah am Erdungssystem platziert, wird ein zu kleiner Widerstand gemessen. (Nur ein Teil des Spannungstrichters wird erfasst.)
Wenn man die Sonde S zu nah an der Sonde H platziert, würde der Erdungswiderstand des Spannungstrichters der Sonde H das Ergebnis stören.
Es ist für die korrekte Platzierung der Prüfsonden äußerst wichtig, dass die Größe des Erdungssystems bekannt ist.
Der Parameter a stellet das Maximalmaß der Erdungselektrode (oder eines Systems von Elektroden) dar und kann gemäß Bild 44 definiert werden.



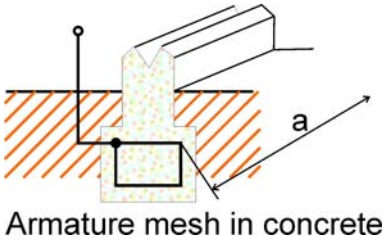


Bild 44: *Definition des Parameters a*

Anordnung in gerader Reihe

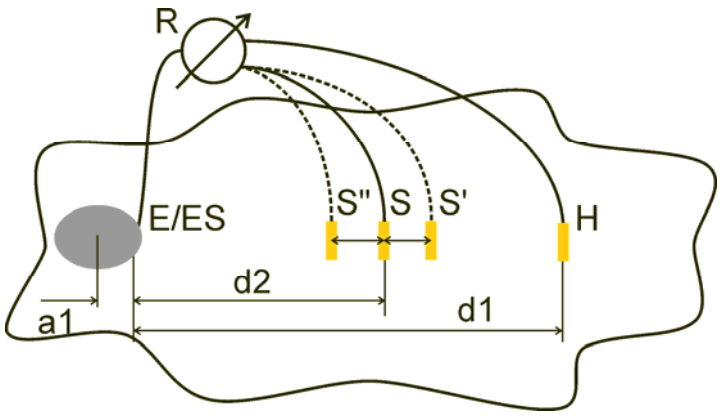


Bild 45: *Anordnung in gerader Reihe*

Nachdem das maximale Maß a eines Erdungssystems festgelegt ist, können Messungen durch richtige Platzierung von Prüfsonden durchgeführt werden. Eine Messung mit drei Anordnungen der Prüfsonde S (S'', S, S') soll überprüfen, ob der gewählte Abstand d1 groß genug ist.

- Der Abstand vom geprüften Erdungselektrodensystem E/ES zur Stromsonde H muss betragen: d1 ≥ 5a.
- Der Abstand vom geprüften Erdungselektrodensystem E/ES zur Potentialsonde S muss betragen:

$$d_2 = 0{,}62 d_1 - 0{,}38 a_1 [\Omega] \qquad \textit{Gl. 29}$$

a1..... Abstand zwischen Verbindungspunkt des Erdungssystems und seinem Mittelpunkt.

Messung 1

- Der Abstand von der Erdungselektrode E/ES zur Spannungssonde S muss betragen: d2.

Messung 2

- Der Abstand von der Erdungselektrode E/ES zur Spannungssonde S muss betragen: $d_2 = 0{,}52 d_1 - 0{,}38 a_1$ (S'').

Messung 3

- Der Abstand von der Erdungselektrode E/ES zur Spannungssonde S muss betragen: $d_2 = 0{,}72 d_1 - 0{,}38 a_1$ (S').

Im Falle eines richtig gewählten d1 liegen die Ergebnisse der Messungen 2 und 3 symmetrisch um das Ergebnis von Messung 1. Die Differenzen (Messung 2 - Messung 1, Messung 3 - Messung 2) müssen unter 10 % liegen. Höhere Differenzen oder unsymmetrische Ergebnisse bedeuten, dass die Spannungstrichter die Messung beeinflussen, und dass d1 erhöht werden sollte.

Hinweise:

- Die Anfangsgenauigkeit des gemessenen Widerstands zur Erde hängt vom Abstand zwischen den Elektroden d1 und der Größe der Erdungselektrode a ab. Sie kann aus Tabelle 23 ersehen werden.

d1/a	Fehler [%]
5	10
10	5
50	1

Tabelle 23: *Einfluss des Verhältnisses d1/a auf die anfängliche Genauigkeit*

- Es ist anzuraten, die Messung bei verschiedenen Platzierungen der Prüfsonden zu wiederholen.
- Die Prüfsonden müssen auch in der entgegengesetzten Richtung zur geprüften Sonde platziert werden (180° oder mindestens 90°). Das Endergebnis ist ein Mittelwert von zwei oder mehr Teilergebnissen.
- Nach IEC 60364-6 müssen die Abstände S'-S (Messung 2) und S''-S (Messung 3) 6 m betragen.

Gleichseitige Anordnung

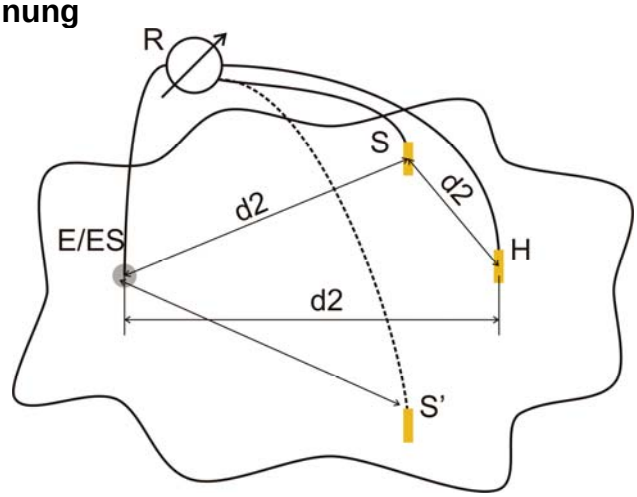


Bild 46: *Gleichseitige Anordnung*

Messung 1
Der Abstand von der geprüften Erdungselektrode zur Stromsonde H und zur Spannungssonde S muss mindestens sein: d2= 5·a
Messung 2
Abstand von der Erdungselektrode zur Spannungssonde S (S'): d2, entgegengesetzte Seite zu H.

Die erste Messung ist an den in einem Abstand von d2 platzierten Sonden S und H vorzunehmen. Die Verbindungen E und die Sonden H und S sollten ein gleichseitiges Dreieck bilden.
Für die zweite Messung sollte die Sonde S im selben Abstand d2 auf der gegenüberliegenden Seite zur Sonde H platziert werden. Die Verbindungen E und die Sonden H und S sollten wieder ein gleichseitiges Dreieck bilden. Die Differenz zwischen beiden Messungen darf 10 % nicht überschreiten. Wenn eine Differenz von mehr als 10 % auftritt, sollte der Abstand d2 proportional vergrößert werden, und die Messungen sollten wiederholt werden. Eine einfache Lösung ist es, nur die Prüfsonden S und H zu vertauschen (kann am Instrument erfolgen). Das Endergebnis ist ein Mittelwert von zwei oder mehr Teilergebnissen.
Es ist anzuraten, die Messung bei verschiedenen Platzierungen der Prüfsonden zu wiederholen. Die Prüfsonden müssen in der entgegengesetzten Richtung zur geprüften Sonde platziert werden (180° oder mindestens 90°).

Widerstand der Prüfsonde
Im Allgemeinen müssen Prüfsonden einen niedrigen Widerstand zur Erde haben. Falls der Widerstand hoch ist (gewöhnlich wegen trockenen Erdreichs), können die Sonden S und H das Messergebnis beträchtlich beeinflussen. Ein hoher Widerstand der Sonde H bedeutet, dass sich der größte Teil des Spannungsabfalls an der Stromsonde konzentriert und der gemessene Spannungsabfall der geprüften Erdelektrode klein ist. Ein hoher Widerstand der Sonde S kann mit der inneren Impedanz des Prüfgeräts einen Spannungsteiler bilden, was zu einem niedrigeren Prüfergebnis führt. Der Widerstand einer Prüfsonde kann reduziert werden. indem man

- den Boden in der Nähe der Sonden mit normalem oder Salzwasser wässert,
- die Elektroden unterhalb der getrockneten Oberfläche absenkt,
- die Größe der Prüfsonde erhöht oder Sonden parallel schaltet.

Die Prüfgeräte von METREL zeigen in diesem Fall entsprechende Warnungen nach IEC 61557-5 an. Alle Erdungstester von METREL messen bei Sondenwiderständen weit außerhalb der Grenzwerte in IEC 61557-5 genau.

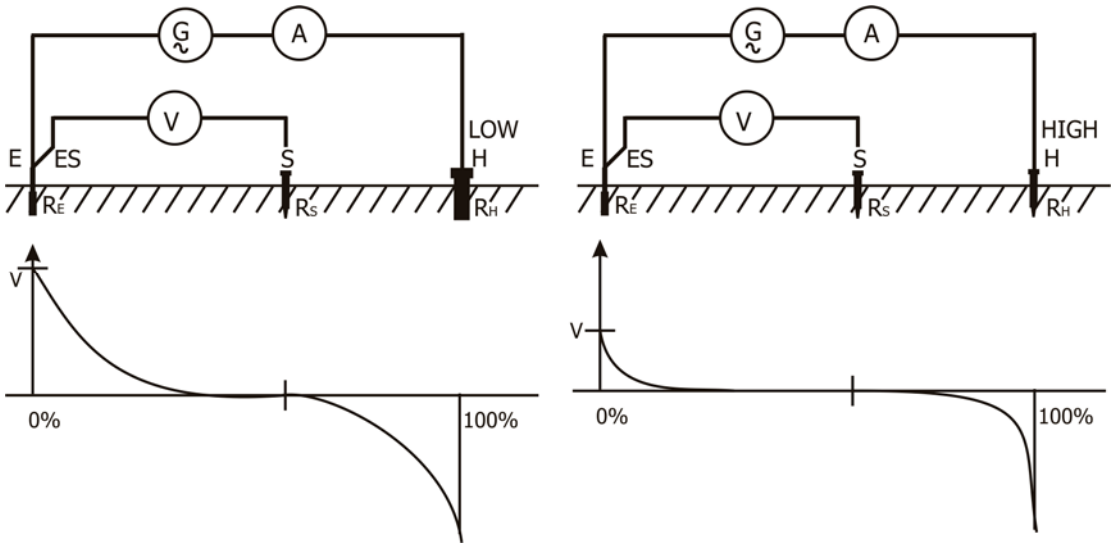


Bild 47: *Unterschiedliche gemessene Spannungsabfälle bei niedrigem und hohem Sondenwiderstand*

Anschlussschaltbilder

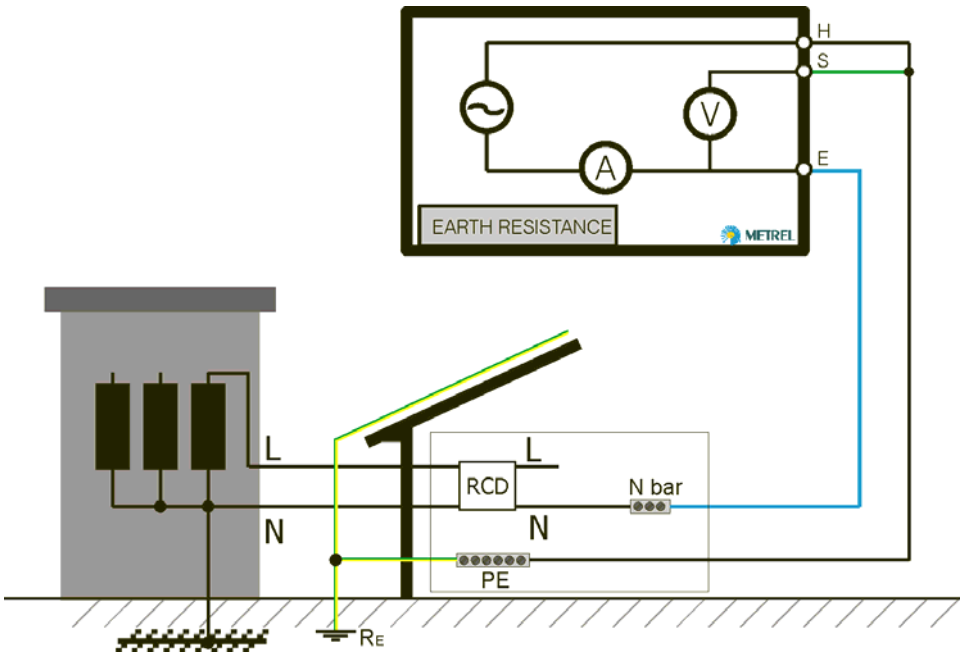


Bild 48: *Zweidrahtprüfung (nur für TT-Netze), keine Sonden*

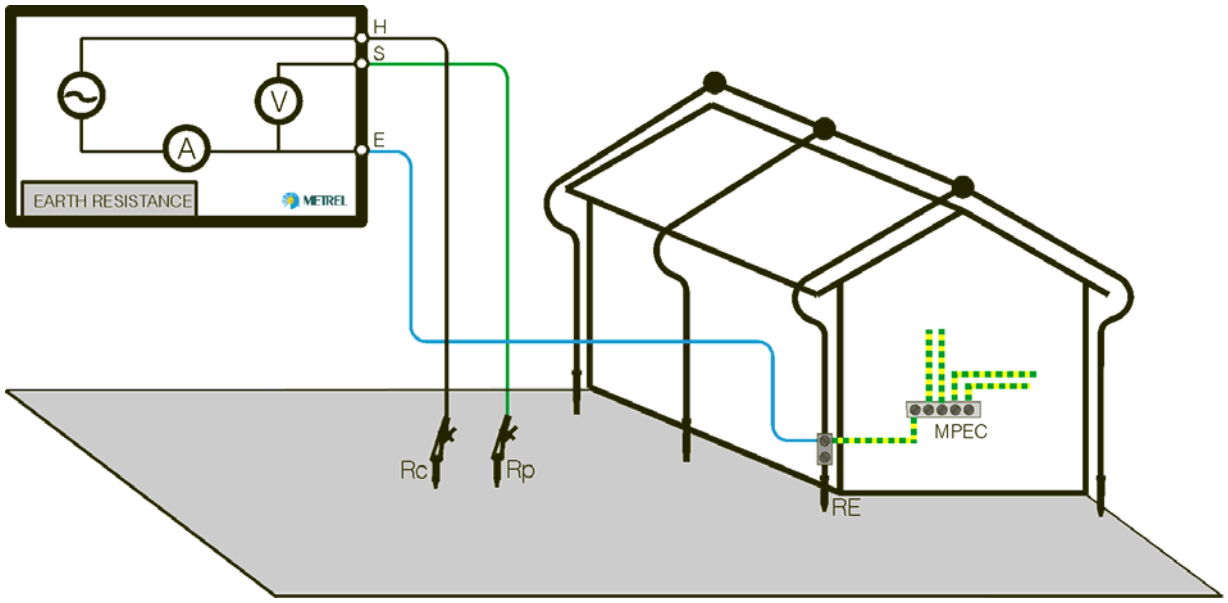


Bild 49: *Dreidrahtprüfung, zwei Sonden, Anordnung der Sonden in gerader Reihe*

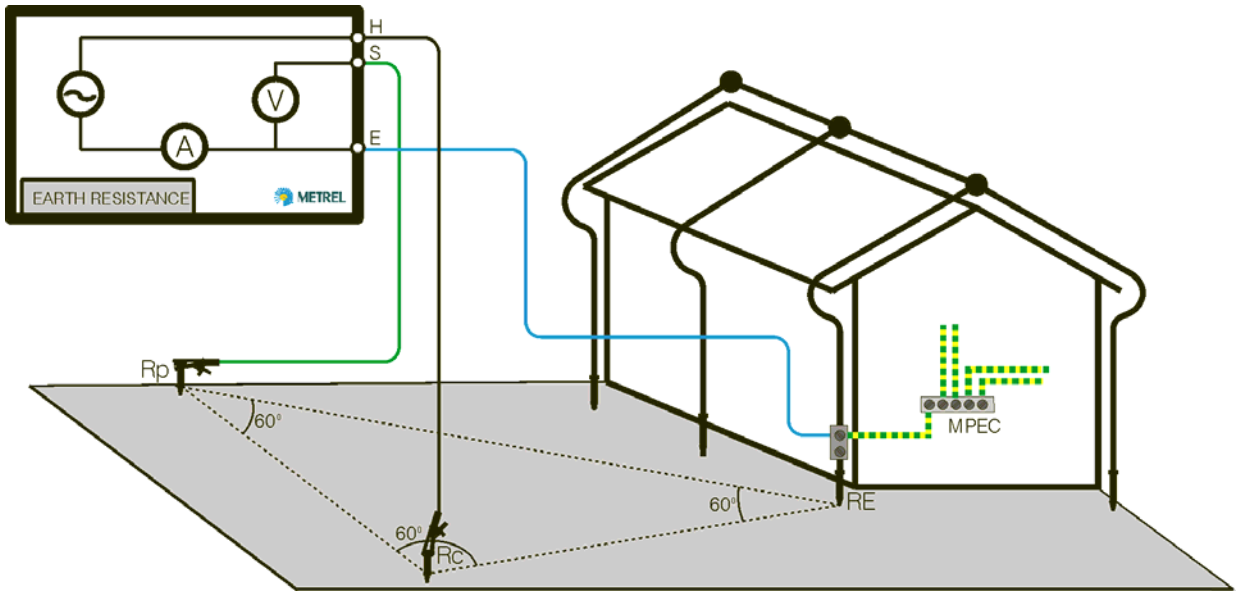


Bild 50: *Dreidrahtprüfung, zwei Sonden, gleichseitige Anordnung der Sonden*

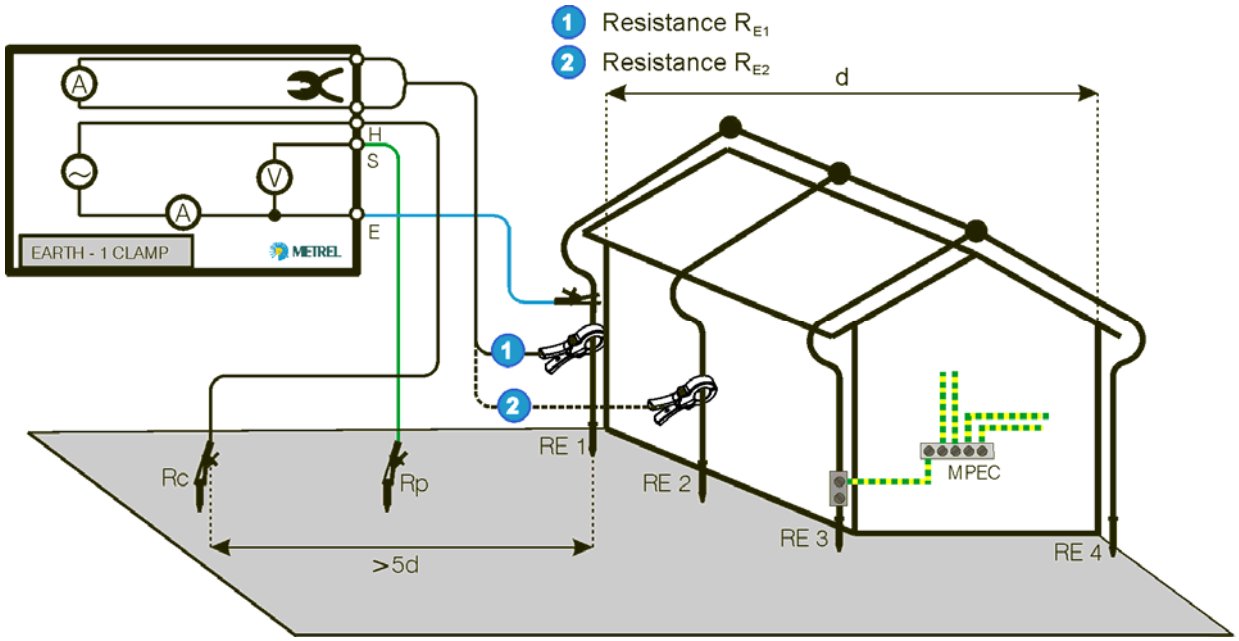


Bild 51: *Prüfsystem mit Stromzange und zwei Sonden*

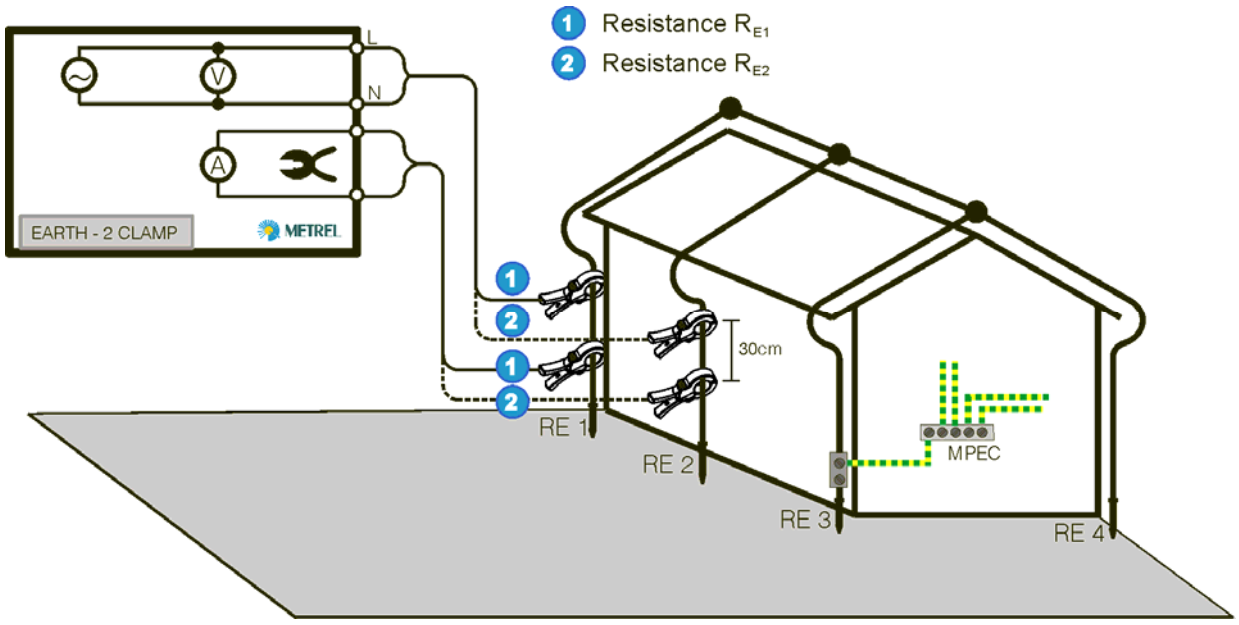


Bild 54: *Prüfsystem (einzelne Erdungsstäbe) mit zwei Stromzangen*

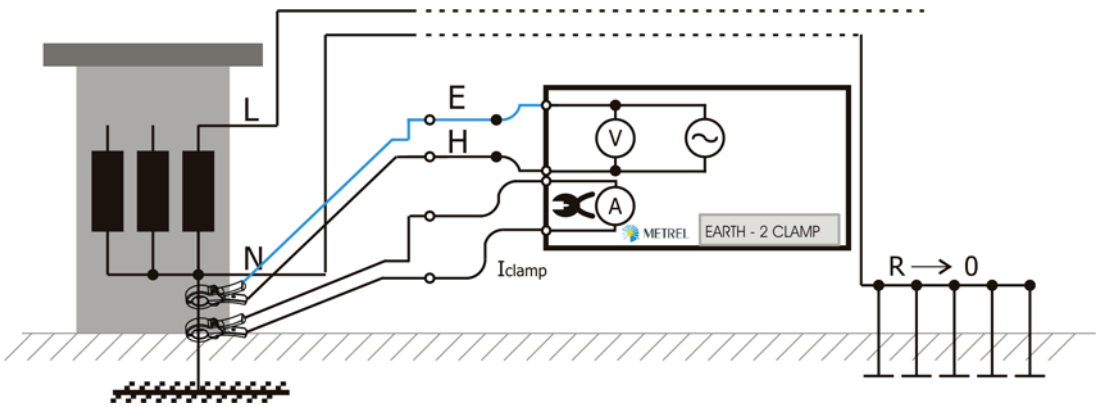


Bild 55: *Messung des Widerstands eines Transformators zur Erde mit zwei Stromzangen*

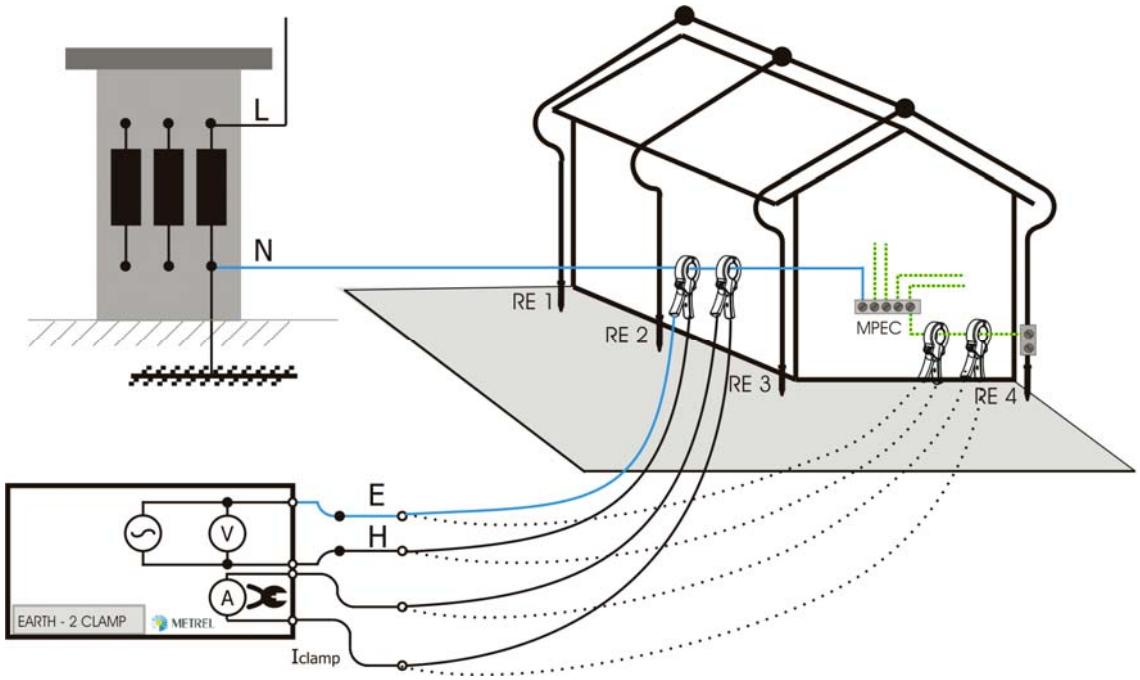


Bild 56: *Messung des Widerstands eines Objekts zur Erde mit zwei Stromzangen in einem TN-Netz*

6.2.4 Schleifenimpedanz

Umfang der Prüfung
Diese Prüfung soll:

- *die Wirksamkeit installierter Überstrom- und/oder Fehlerstromabschaltgeräte überprüfen,*
- *Fehlerschleifenimpedanzen und voraussichtliche Fehlerströme und Fehlerspannungswerte überprüfen.*

Fehlerschleifen-, Fehlerimpedanz und voraussichtlicher Fehlerstrom in TN-Netzen
In TN-Netzen besteht die Fehlerschleifenimpedanz Z_{LPE} aus:

- Z_T (Sekundärimpedanz des Leistungstransformators)

- Z_L (Phasenverdrahtung von der Quelle bis zum Fehler)
- R_{PE} (PE-/ PEN-Verdrahtung vom Fehler bis zur Quelle)

Die Fehlerschleifenimpedanz ist die Summe der Impedanzen und Widerstände, aus denen die Fehlerschleife besteht.

$$Z_{LPE} = Z_L + R_{PE} + Z_T \qquad \text{Gl. 30}$$

Der voraussichtliche Fehlerstrom I_{PFC} ist definiert als:

$$I_{PFC} = \frac{U_{LPE}}{Z_{LPE}} > I_a \qquad \text{Gl. 31}$$

U_{LPE} ist die Versorgungs-Nennspannung. I_{PFC} muss höher sein als I_a (Strom für die Nenntrennzeit) der Überstromschutzeinrichtung.
Die Fehlerschleifenimpedanz muss niedrig genug sein, d. h. der voraussichtliche Fehlerstrom hoch genug sein, so dass die installierte Schutzeinrichtung die Fehlerschleife innerhalb der vorgeschriebenen Zeitspanne trennt. Grenzwerte für I_{PFC} und Z_{LPE} hängen von Typ und Größe der gewählten Sicherung sowie von der erforderlichen Auslösezeit ab.

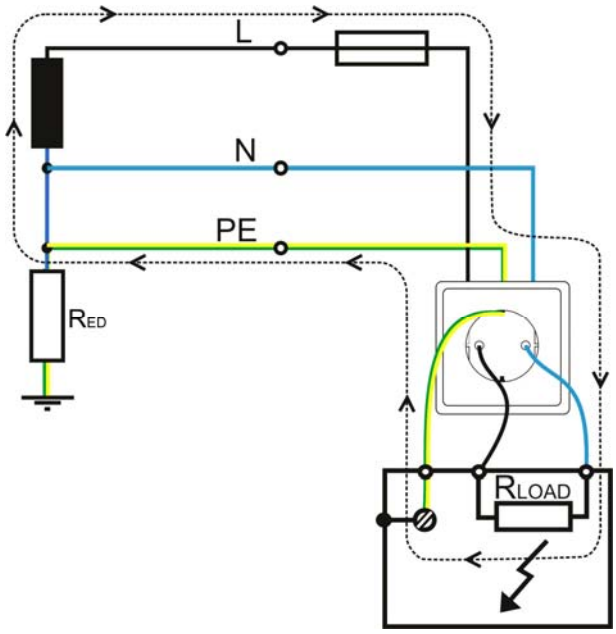


Bild 57: *Fehlerschleife im TN-Netz*

Fehlerschleifen-, Fehlerimpedanz und voraussichtlicher Fehlerstrom in TT-Netzen
In TT-Netzen besteht die Fehlerschleife aus:

- Z_T (Sekundärimpedanz des Leistungstransformators),
- Z_L (Phasenleiter von der Quelle bis zum Fehler),
- $R_{Eh}+R_{PEh}$ (Erdungswiderstand der Anlage mit PE-Leiter vom Fehler zum Erdungspunkt),
- R_{Ed} (Erdungswiderstand der Quelle/des Verteilerpunkts).

Die Fehlerschleifenimpedanz ist die Summe der Impedanzen und Widerstände, aus denen die Fehlerschleife besteht.

$$Z_{LPE} = Z_L + R_{Eh} + R_{Ed} + Z_T \qquad \text{Gl. 31}$$

Als Schutzelemente in TT-Systemen werden gewöhnlich RCDs verwendet. Im Falle eines Kurzschlusses oder eines hohen Leckstroms zwischen Phase und Schutzleiter tritt eine gefährliche Berührungsspannung an berührbaren Metallteilen auf. Wenn diese Spannung 50 V übersteigt, muss der RCD auslösen.

$$Z_{SCHL} < \frac{50V}{I_{\Delta N}} = \frac{U_B}{I_{\Delta N}} \qquad \text{Gl. 32}$$

U_B ..... Berührungsspannung
Z_{SCHL} ..... Schleifenimpedanz
$I_{\Delta N}$ ..... Nennauslösestrom des RCD

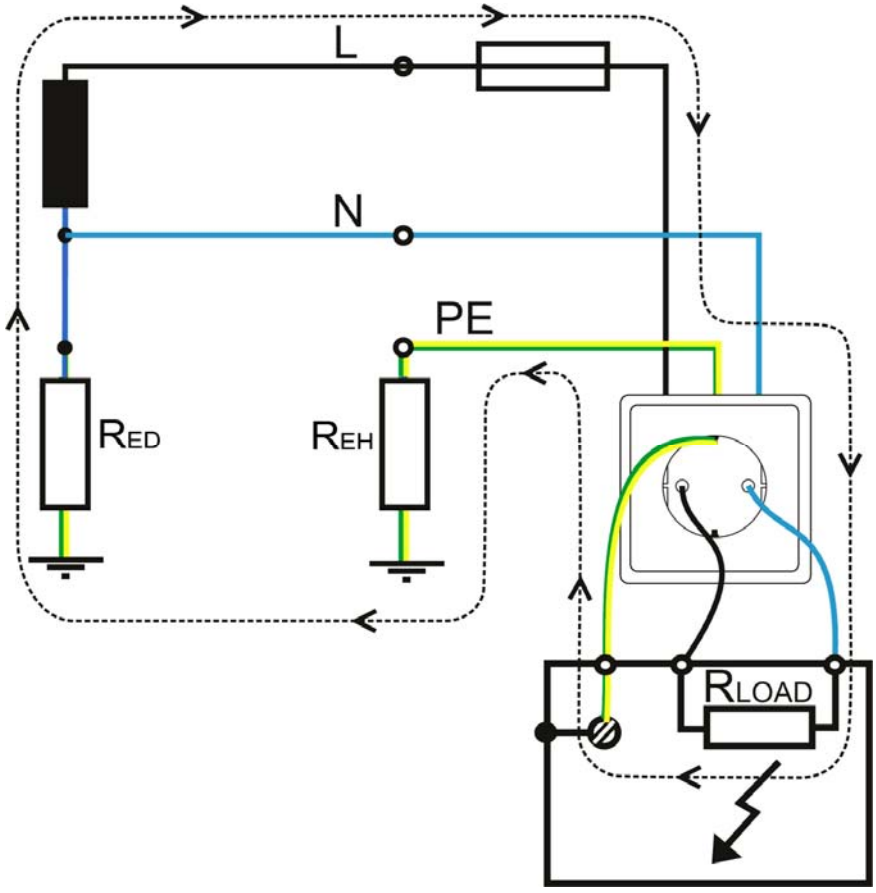


Bild 58: *Fehlerschleife im TT-Netz*

Bezugsdokumente:
Grenzwerte, Vorgehensweise: IEC 60364-4 (Kapitel 61.3.6.3)
Messgeräte: IEC 61557-3

Messprinzipien / Grenzwerte:

Schleifenimpedanz / Schleifenwiderstand

Die Fehlerschleifenimpedanz enthält den resistiven und den induktiven Teil der Fehlerschleife. Der Hauptteil der Induktivität stammt von den Induktivitäten des Leistungstransformators.
Der Hauptwiderstandsteil stammt von der Kupferverdrahtung in der Schleife (Leiter, Transformatorwicklung) und von Erdungswiderständen (in TT-Netzen).
Im Allgemeinen kann der induktive Teil vernachlässigt werden, wenn die Schleifenimpedanz > 0,4 Ω beträgt.
Bei Anwendungen, in denen die Messung in unmittelbarer Nähe zum Leistungstransformator (< 50 m) durchgeführt wird, kann die Induktanz einen ähnlichen Wert haben wie der Widerstandsteil. In diesem Fall ist es sehr wichtig, das Impedanzergebnis zu berücksichtigen, weil das Ergebnis des Fehlerschleifenwiderstands niedriger liegt und zu einer falschen Beurteilung führen kann.

Beispiel:
Der Innenwiderstand (R_L+ R_{PE}) des TN-Verteilernetzes beträgt 0,25 Ω,
die Streuinduktivität X_L des Verteilertransformators beträgt 0,4 mH (0,13 Ω bei 50 Hz),
die Schleifenimpedanz des Netzes beträgt 0,28 Ω.
I_{PFC} auf Grundlage der Widerstandsmessung: 828 A (bei 207 V).
I_{PFC} auf Grundlage der Impedanzmessung: 739 A
Man erkennt, dass die alleinige Messung des Widerstands zu einer falschen Wahl oder Überprüfung der installierten Sicherung führt!

Skalierungsfaktor des voraussichtlichen Fehlerstroms
Die Bedingung $I_{PFC} > I_a$ muss auch bei ungünstigsten Bedingungen erfüllt sein (höchste Leitertemperatur, niedrigste Versorgungsspannung).
Um dies zu berücksichtigen, muss der gemessene Wert von I_{PFC} um einen geeigneten Faktor erhöht werden.

$$I_{PFCberechnet} = I_{PFCgemessen} / (Skalierungsfaktor) \qquad Gl.\ 33$$

$I_{PFCgemessen}$ ..... *Mit dem Messgerät gemessenes Ergebnis*
$I_{PFCberechnet}$ ..... *Berechnetes Ergebnis, das die ungünstigsten Bedingungen berücksichtigt*

Die Bedingungen für den ungünstigsten Fall können auch durch Korrektur der Grenzwerte berücksichtigt werden. In diesem Fall braucht man die Messergebnisse nicht zu korrigieren.

$$I_{PFC\_Grenz} = I_a / (Skalierungsfaktor) \qquad Gl.\ 34$$

I_a ..... *Strom, der die Trennung von der Versorgung innerhalb der Nennzeit bewirkt.*
I_{PFC_Grenz} ..... *Berechneter Grenzwert, der die ungünstigsten Bedingungen berücksichtigt*

Hinweis:
- Für den richtigen Wert des Skalierungsfaktors müssen die nationalen Vorschriften berücksichtigt werden.
- Ein typischer Skalierungsfaktor ist 0,64 (0,8 für den Einfluss der Versorgungsspannung und 0,8 für den Einfluss der Leitertemperatur).

6.2.4.1 Standard-Schleifenmessung

Das Prüfgerät wird an die Netzspannung angeschlossen (zwischen Phasen- und Schutzleiter) und belastet die Netzspannung kurzzeitig stark. Der durch den Prüfstrom verursachte Spannungsabfall wird mit einem Voltmeter gemessen. Die Phasenverzögerung zwischen Prüfstrom und Netzspannung wird ebenfalls gemessen. Auf Grundlage der Messergebnisse berechnet das Prüfgerät die Fehlerschleifenimpedanz Z_{LPE}.

$$Z_{LPE} = \frac{U_{UNBELASTET} - U_{BELASTET}}{U_{BELASTET} / R_{LAST}} = \frac{\Delta U}{I_{test}} \qquad \text{Gl. 35}$$

ΔU..... Gemessener Spannungsabfall
I_{test}..... Prüfstrom

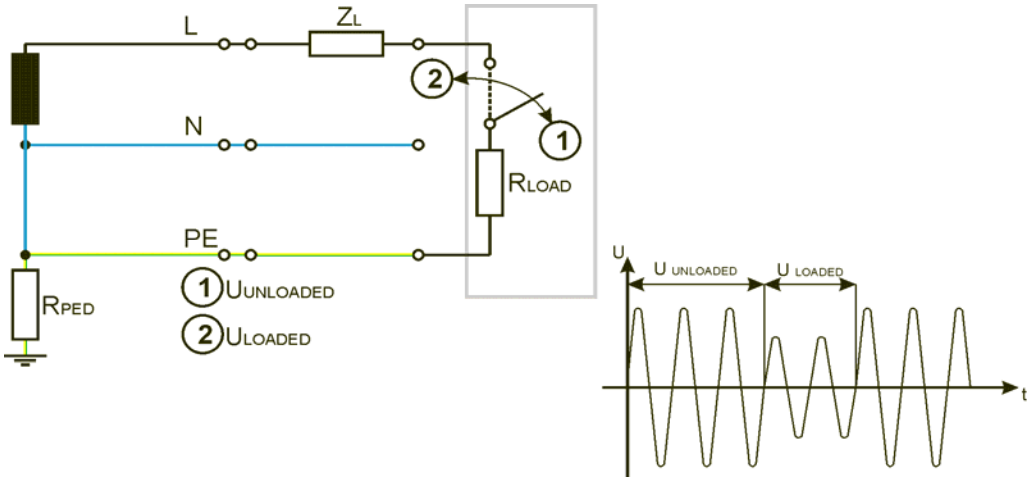


Bild 59: *Fehlerschleifenimpedanzmessung – Standardmethode*

6.2.4.2 Messung von Z_{SCHL} in RCD-geschützten TN-Netzen

In TN-Netzen mit Überstromschutz und zusätzlichem RCD-Schutz tritt das folgende Problem auf:
Da die Bedingung $I_{PFC}>I_a$ erfüllt sein muss, sind die gemessenen Impedanzen niedrig (typisch <1,5 Ω). Der Prüfstrom muss klein sein, um ein Auslösen des RCDs zu vermeiden. Für einen RCD mit 30 mA muss der Prüfstrom < 15 mA betragen.
Der durch den kleinen Prüfstrom erzeugte gemessene Spannungsabfall ist sehr klein; daher können selbst kleine Spannungsschwankungen die Ergebnisse ernsthaft beeinflussen. Spannungsschwankungen werden hauptsächlich durch Laständerungen und Schaltvorgänge im Netz verursacht.
Um dieses Problem zu lösen, müssen verfeinerte Techniken angewandt werde, die über den Umfang dieser Prüfung hinausgehen.

Beispiel:
Eine TN-Anlage mit Z_{LPE}=1,00 Ω wird durch einen RCD mit 30 mA geschützt.
Nehmen wir an, die Versorgungsspannung von 230 V schwankt während der Messung um 0,5 %. Die Messung wird mit einem Prüfstrom von 15 mA durchgeführt, um den RCD nicht auszulösen.

Gemäß Gl. 35 beträgt der gemessene Spannungsabfall $I_{test} \cdot Z_{LPE}$ = 15 mV.
0.5 % von 230 V bedeuten 1,15 V.
Das Beispiel zeigt, dass der durch die Schwankung verursachte Spannungsabfall das 77-Fache des Messsignals beträgt!

Hinweis:

- Die verfeinerte Schleifenprüfung wird häufig neben der Standardprüfung angeboten (unter der Bezeichnung R_S, „TripLock“, 15 mA-Schleife usw.).
- Prüfprinzip, Genauigkeit und Stabilität der so genannten „nicht auslösenden Prüfung“ variieren beträchtlich zwischen verschiedenen Installationstestern. Der Anwender sollte die tatsächliche Genauigkeit dieser Prüfung nachprüfen, bevor er einen neuen Installationstester erwirbt, da dieses Funktionsmerkmal immer wichtiger wird.
- Die Installationstester von METREL bieten eine der besten auf dem Markt befindlichen Lösungen. METREL arbeitet ständig an der Verbesserung dieser Prüfung.

Grenzwerte – Schutz mit Überstromschutzeinrichtungen
Wenn die Anlage durch Überstromschutzeinrichtungen geschützt wird, muss die folgende Bedingung erfüllt sein:

$$I_{PFC} > I_a \qquad \textit{Gl. 36}$$

I_{PFC}..... Tatsächlicher voraussichtlicher Fehlerstrom.
I_a ..... Strom für die Nenntrennzeit der Überstromschutzeinrichtung.

Optional sollte ein geeigneter Skalierungsfaktor berücksichtigt werden (siehe Gl. 34).

Hinweis:

- Die Werte von I_a für Standardsicherungstypen (NV, gG, B, C, K, D) sind in den Bedienungsanleitungen der METREL-Installationstester zu finden.

Sicherungstyp	Auslösezeit der Sicherung	Nennstrom der Sicherung	Min. voraussichtlicher Kurzschlussstrom (A)
B	200 ms	6 A	30
B	200 ms	10 A	50
B	200 ms	16 A	80
B	200 ms	20 A	100

Tabelle 24: *Ausschnitt aus der Sicherungstabelle (Quelle Bedienungsanleitung zum Eurotest XA)*

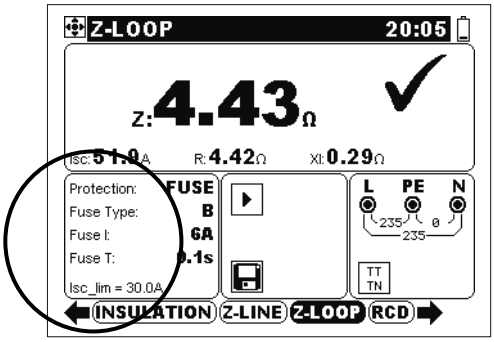


Bild 60: *Grenzwerte/Parameter/GUT/SCHLECHT im Installationstester Eurotest*

Hinweis von METREL

- Bei den meisten Installationstestern von METREL können die Sicherungsparameter und der Skalierungsfaktor eingestellt werden. Damit können im Feld die Grenzwerte von Z_{LOOP} und I_{PFC} festgelegt werden.

Grenzwerte – Schutz mit Fehlerstromschutzeinrichtungen

Wenn die Anlage durch Fehlerstromschutzeinrichtungen geschützt wird, muss die folgende Bedingung erfüllt sein:

$$Z_{LPE} < \frac{U_{BL}}{I_{\Delta N}} \qquad \textit{Gl. 37}$$

U_{BL} ..... Berührungsspannung
Z_{LPE} ..... Schleifenimpedanz
$I_{\Delta N}$ ..... Nennauslösestrom des RCD

Die folgende Tabelle listet die berechneten maximal zulässigen Werte des Schleifenwiderstands (Erdungswiderstände) für verschiedene RCDs auf.

Max. zulässiger Erdwiderstandswert (Ω)	Nenn-Differenzstrom $I_{\Delta N}$ (A)					
Grenzwert Berührungsspannung U_{BL} (V)	0,01	0,03	0,1	0,3	0,5	1
50	5000	1666	500	166	100	50
25	2500	833	250	83	50	25

Tabelle 25: *Grenzwerte für Z_{LPE} bei RCD-geschützten Anlagen*

Hinweis:

- In TT-Anlagennetzen stellt der Erdungswiderstand R_{EH} den Hauptanteil der Schleifenimpedanz dar. Aus diesem Grund kann sich die Schleifenprüfung zum Messen des Erdungswiderstands von Objekten, Systemen usw. eignen.
- Die Grenzwerte in Tabelle 25 sind gleichzeitig Grenzwerte des Erdungswiderstands in TT-Anlagennetzen.
- Wenn der RCD nachgeschaltet installiert ist, sind die Anlage und Teile der Verdrahtung nicht geschützt; in diesem Fall muss der Grenzwert für den Überstromschutz berücksichtigt werden. Ein typisches Beispiel ist eine Steckdose mit eingebautem RCD.

Anschlussschaltbilder

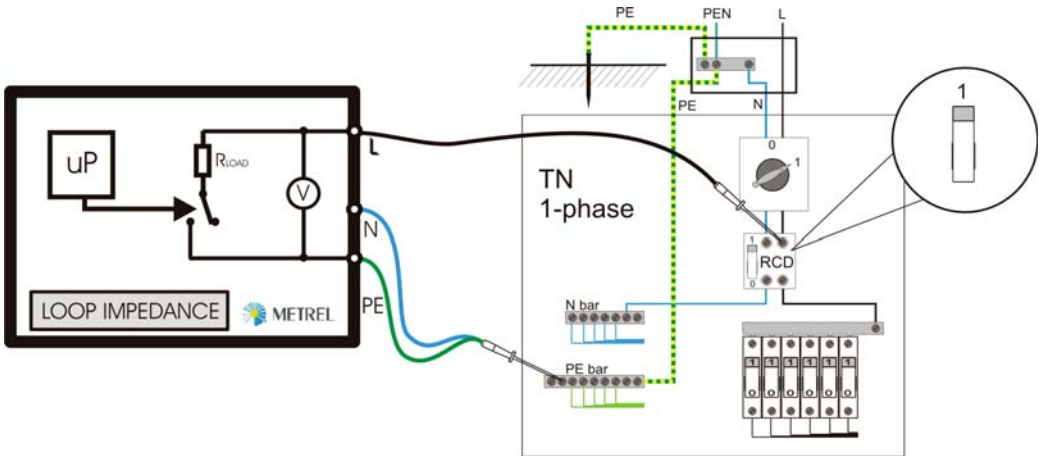


Bild 61: *Schleifenimpedanz am Eingang einer einphasigen Anlage*

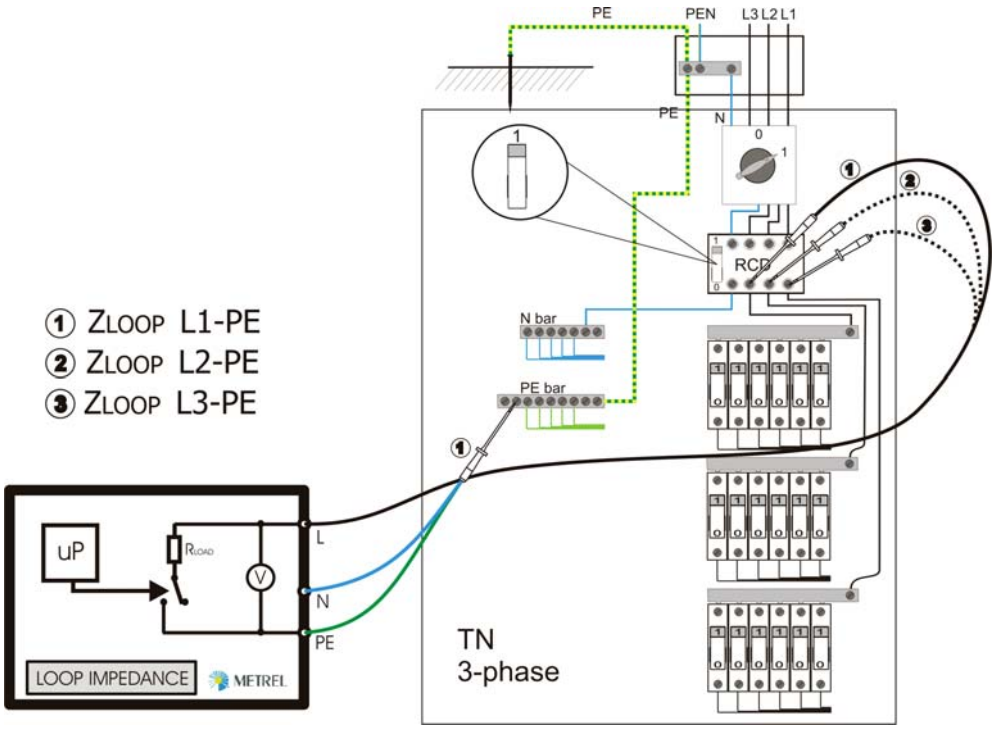


Bild62: *Schleifenimpedanz am Eingang einer Dreiphasenanlage*

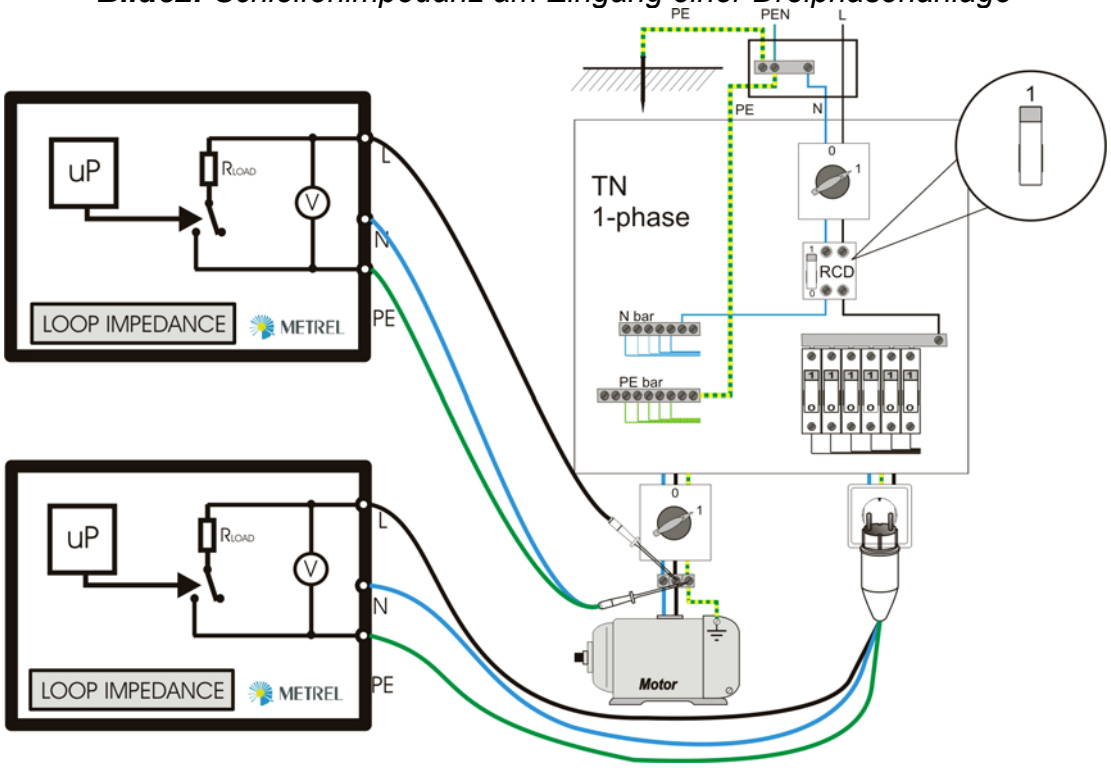


Bild 63: *Schleifenimpedanz an einer einphasigen Steckdose und einem Anschlusspunkt*

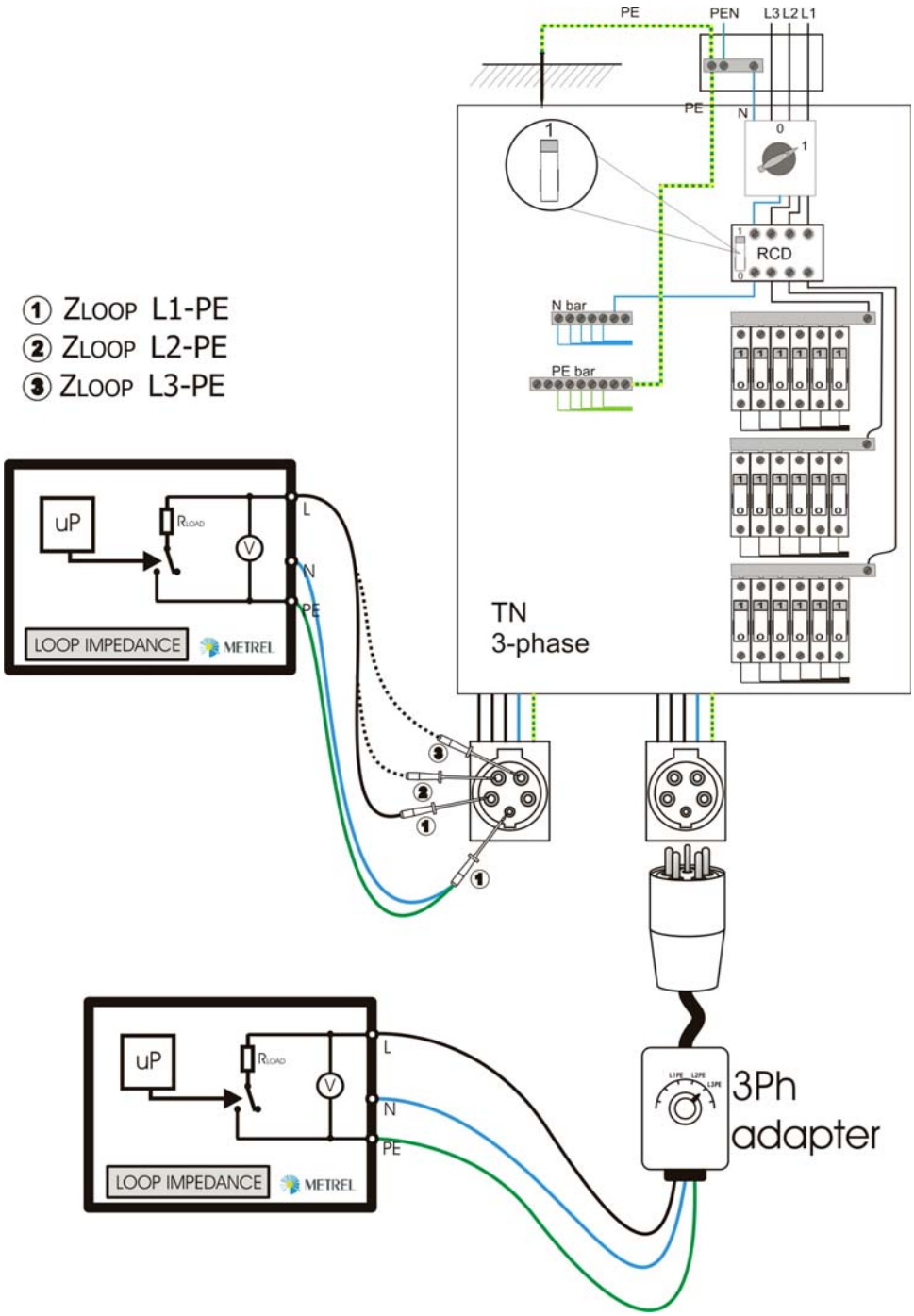


Bild 64: *Schleifenimpedanzmessung an Drehstromsteckdosen*

6.2.5 Leitungsimpedanz

Umfang der Prüfung
Der Umfang der Prüfung ist,

- die Wirksamkeit installierter Überstromschutzgeräte zu überprüfen,
- die Innenimpedanz für Versorgungszwecke zu überprüfen (Spannungsabfall / IEC 60364-6, Kapitel 61.3.11).

Kurzschlussimpedanz Phase – Nullleiter und voraussichtlicher Kurzschlussstrom

Die Kurzschlussschleife Phase – Nullleiter besteht aus:

- Z_T (Sekundärimpedanz des Leistungstransformators)
- Z_L (Phasenverdrahtung von der Quelle bis zum Fehler)
- Z_N (Nullleiterverdrahtung von der Quelle bis zum Fehler)

Die Impedanz Phase zu Nullleiter ist die Summe der Impedanzen und Widerstände, aus denen die Schleife Phase zu Nullleiter besteht. In Dreiphasensystemen gibt es drei Impedanzen Phase – Nullleiter (Z_{L1-N}, Z_{L2-N}, Z_{L3-N}).

$$Z_{LN} = Z_L + Z_N + Z_{TLN} \qquad \textit{Gl. 38}$$

Der voraussichtliche Kurzschlussstrom I_{PSC} ist definiert als:

$$I_{PSC} = \frac{U_{LN}}{Z_{LN}} \qquad \textit{Gl. 39}$$

I_{PSC} muss höher sein als I_a (Strom für die Nenntrennzeit) der Überstromschutzeinrichtung.
Die Impedanz Phase zu Nullleiter muss niedrig genug sein, d. h. der voraussichtliche Kurzschlussstrom muss hoch genug sein, so dass die installierte Schutzeinrichtung die Kurzschlussschleife innerhalb der vorgeschriebenen Zeitspanne trennt. Grenzwerte für Strom und Impedanz hängen von Typ und Größe der gewählten Sicherung sowie von der erforderlichen Auslösezeit ab.

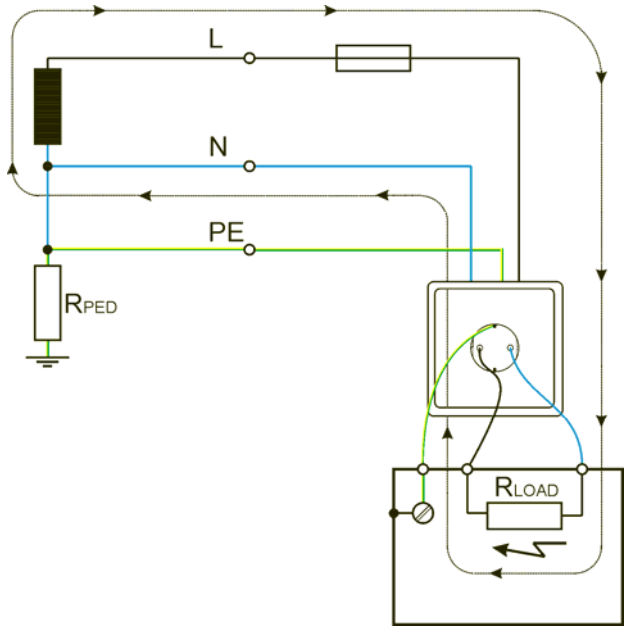


Bild 65: *Kurzschlussstrom zwischen Phase und Nullleiter*

Kurzschlussimpedanz Phase – Phase und voraussichtlicher Kurzschlussstrom

Die Kurzschlussschleife Phase - Phase besteht aus:

- Z_T (Sekundärimpedanz des Leistungstransformators),
- Z_{Lx} (Verdrahtung der ersten Phase von der Quelle bis zum Fehler),
- Z_{Ly} (Verdrahtung der zweiten Phase von der Quelle bis zum Fehler).

Die Impedanz Phase-Phase ist die Summe der Impedanzen und Widerstände, aus denen die Schleife Phase-Phase besteht. In einem Dreiphasensystem gibt es drei Impedanzen Phase-Phase (Z_{L1-L2}, Z_{L1-L3}, Z_{L2-L3}).

$$Z_{LxLy} = Z_{Lx} + Z_{Ly} + Z_{TLL} \qquad \text{Gl. 40}$$

Der voraussichtliche Kurzschlussstrom I_{PSC} ist definiert als:

$$I_{PSC} = \frac{U_{LxLy}}{Z_{LxLy}} = \frac{U_{LN} \cdot \sqrt{3}}{Z_{LxLy}} \qquad \text{Gl. 41}$$

I_{PSC} muss höher sein als I_a (Strom für die Nenntrennzeit) der Überstromschutzeinrichtung.
Die Impedanz Phase zu Phase muss niedrig genug sein, d. h. der voraussichtliche Kurzschlussstrom muss hoch genug sein, so dass die installierte Schutzeinrichtung die Kurzschlussschleife innerhalb der vorgeschriebenen Zeitspanne trennt. Grenzwerte für Strom und Impedanz hängen von Typ und Größe der gewählten Sicherung sowie von der erforderlichen Auslösezeit ab.

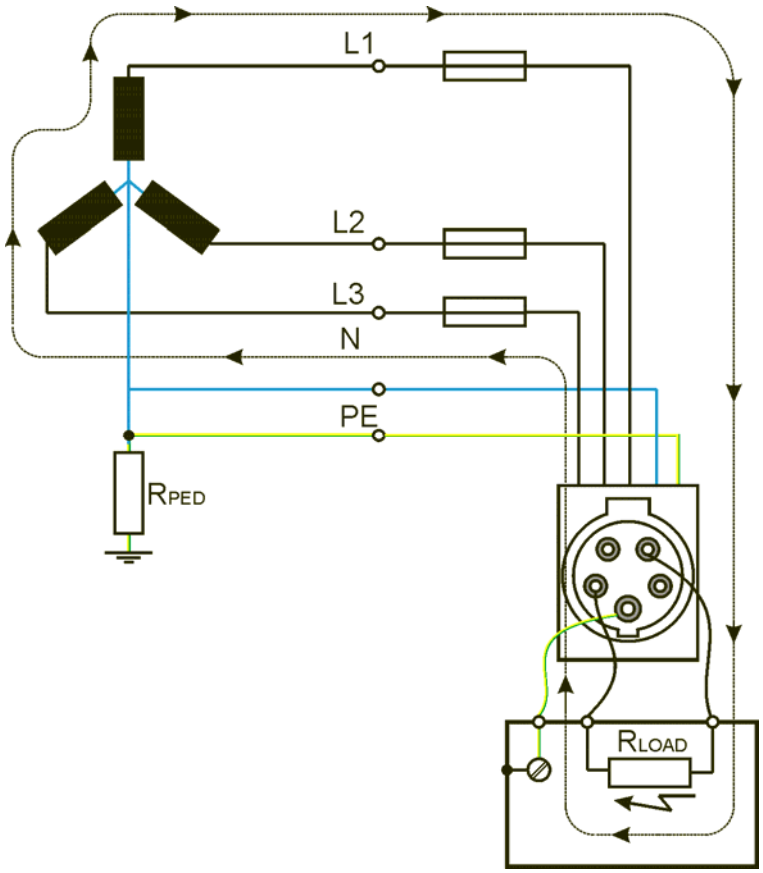


Bild 66: *Kurzschlussstrom zwischen zwei Phasenleitern*

Bezugsdokumente:
Grenzwerte, Vorgehensweise: IEC 60364-6 (Kapitel 61.3.11),
Messgeräte: IEC 61557-3

Messprinzipien / Grenzwerte:

Leitungsimpedanz / Leitungswiderstand
Die Leitungsimpedanz enthält den resistiven und den induktiven Teil der Kurzschlussschleife. Der Hauptteil der Induktivität stammt von den Induktivitäten des Leistungstransformators. Der Widerstandsteil stammt von der Kupferverdrahtung in der Schleife (Transformator, Phasen- und Nullleiter).
Im Allgemeinen kann der induktive Teil vernachlässigt werden, wenn die Schleifenimpedanz > 0,4 Ω beträgt.
Bei Anwendungen, in denen die Messung in unmittelbarer Nähe zum Leistungstransformator (< 50 m) durchgeführt wird, kann die Induktivität einen ähnlichen Wert haben wie der Widerstandsteil. In diesem Fall ist es sehr wichtig, das Impedanzergebnis zu berücksichtigen, weil das Ergebnis des Leitungswiderstands niedriger liegt und zu einer falschen Beurteilung führen kann.

Skalierungsfaktor des voraussichtlichen Kurzschlussstroms
Es werden dieselben Prinzipien wie beim Skalierungsfaktor des voraussichtlichen Fehlerstroms angewandt.
Weitere Informationen finden Sie in Kapitel 6.2.4.

6.2.5.1 Leitungsimpedanzmessung

Das Messprinzip ist dasselbe wie bei der Schleifenimpedanzmessung (siehe Kapitel 6.2.4), außer dass die Messung zwischen den Anschlüssen L, N oder Lx, Ly durchgeführt wird.

$$Z_{LEITUNG} = \frac{U_{UNBELASTET} - U_{BELASTET}}{U_{BELASTET} / R_{LAST}} \qquad \textit{Gl. 42}$$

$Z_{LEITUNG} = Z_{LN}$ *oder* Z_{LxLy}

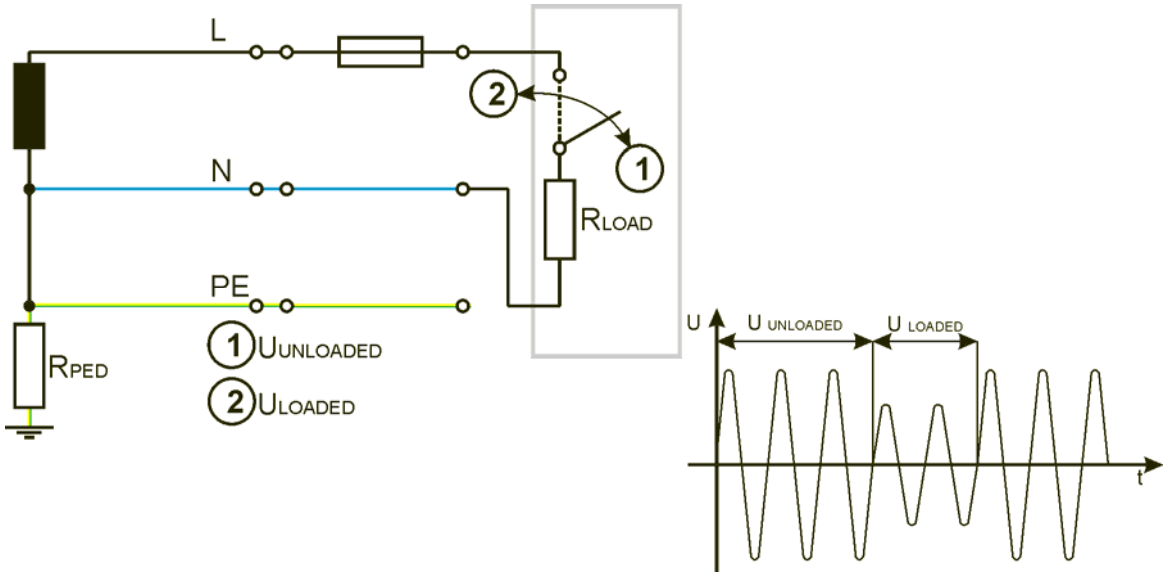


Bild 67: *Messung der Leitungsimpedanz Z_{LN}*

Grenzwerte:
Die folgende Bedingung muss erfüllt sein:
$I_{PSC} > I_a$
I_a ist der Strom für die Nenntrennzeit der Überstromschutzeinrichtung.
Optional sollte ein geeigneter Skalierungsfaktor berücksichtigt werden.

Für den Vergleich der voraussichtlichen Fehlerströme können dieselben Sicherungstabellen benutzt werden (siehe Kapitel 6.2.4.2). Die meisten Installationstester von METREL enthalten die Parameter (wie bei der Schleifenimpedanzprüfung).

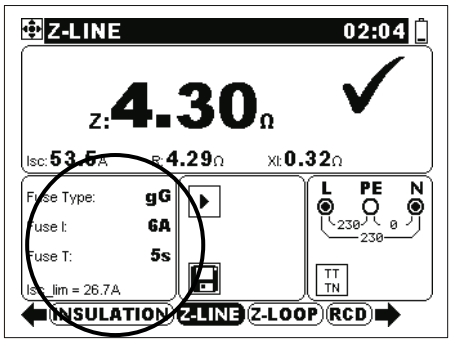


Bild 68: *Grenzwerte/Parameter/GUT/SCHLECHT im Installationstester EurotestAT*

Hinweis von METREL

- Bei den meisten Installationstestern von METREL können die Sicherungsparameter und der Skalierungsfaktor eingestellt werden. Damit können im Feld die Grenzwerte von Z_{LEIT} und I_{PSC} festgelegt werden.

Anschlussschaltbilder

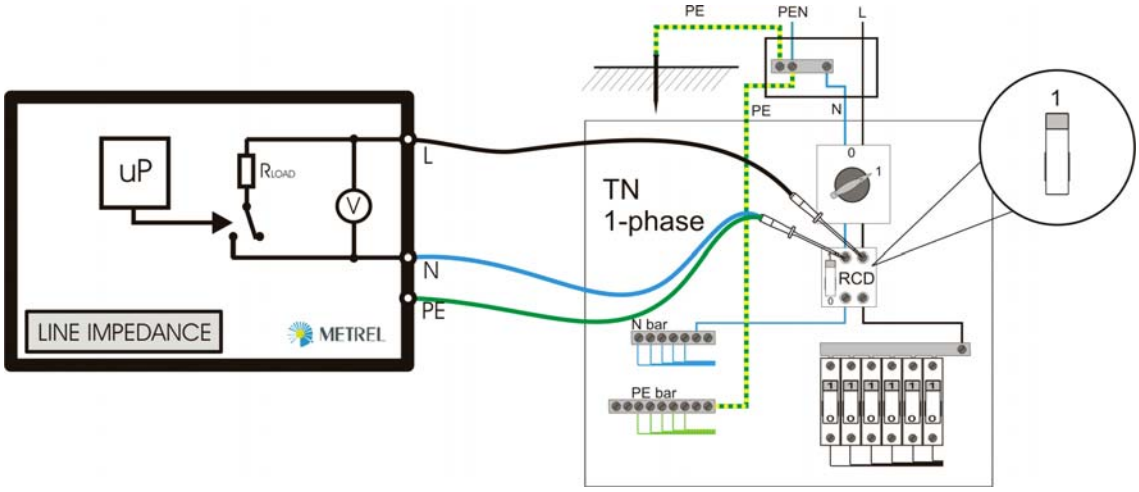


Bild 69: *Leitungsimpedanz am Eingang einer Einphasenanlage*

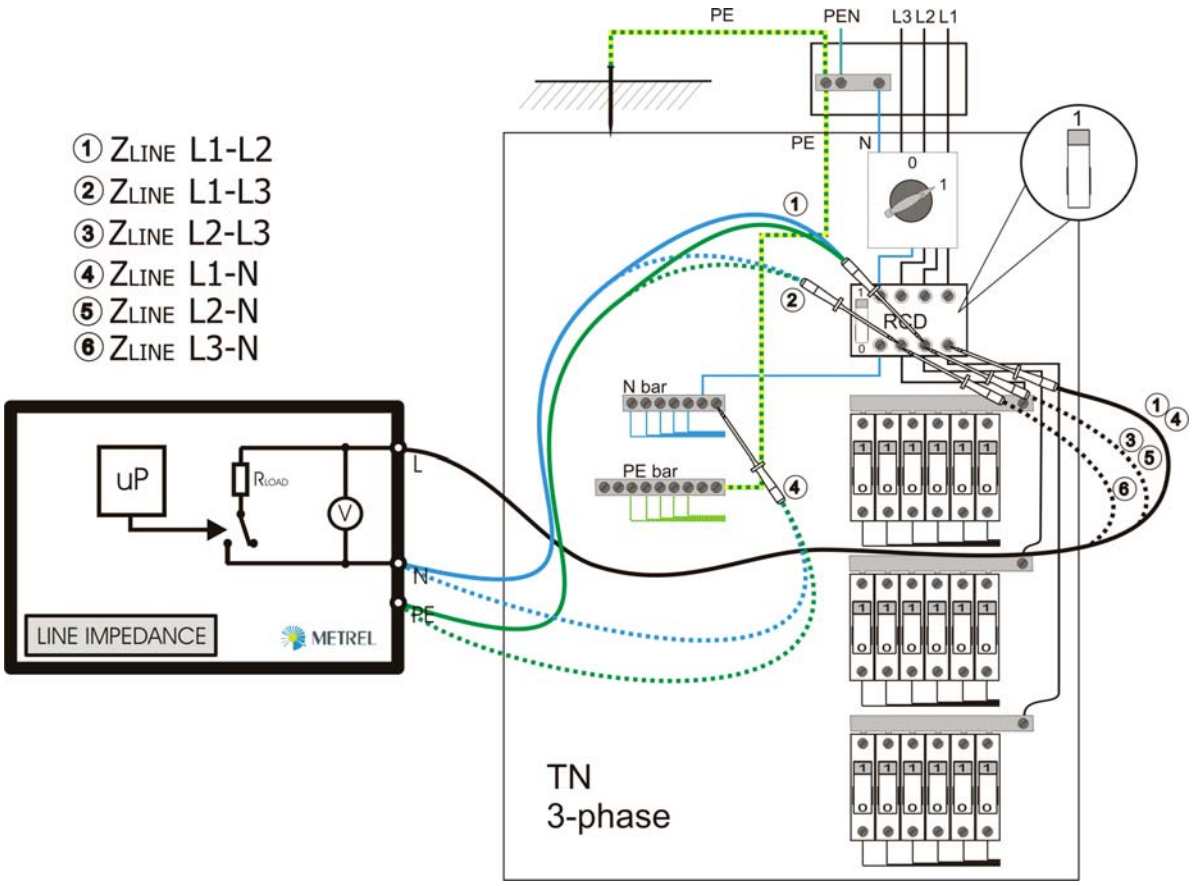


Bild 70: *Leitungsimpedanz am Eingang einer Dreiphasenanlage*

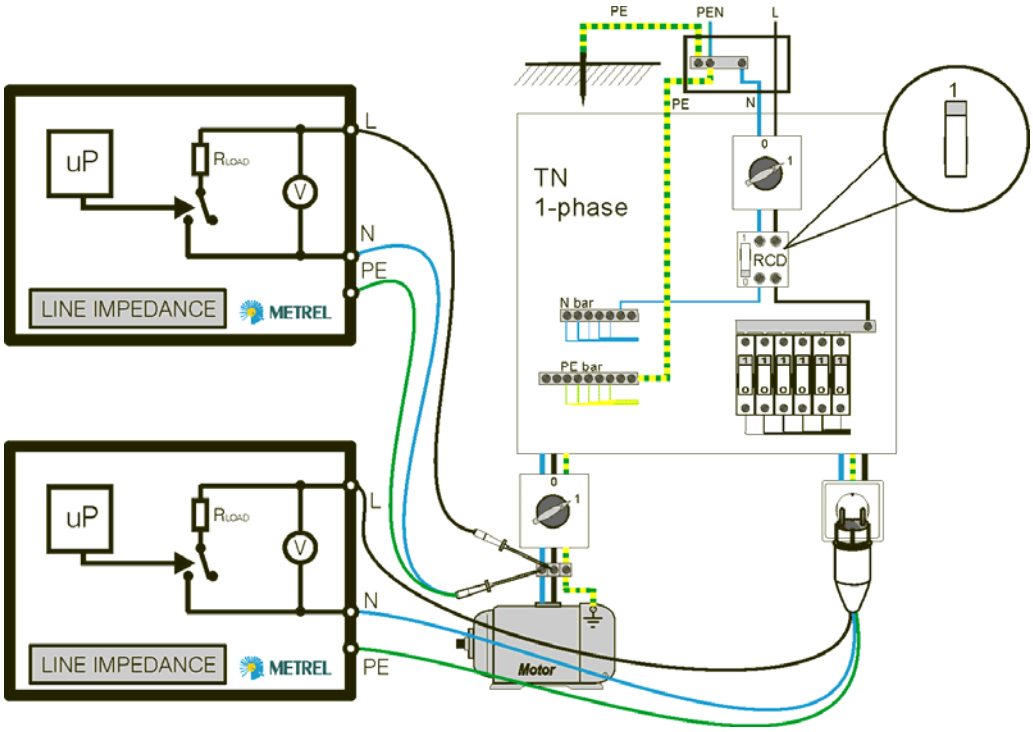


Bild 71: *Leitungsimpedanz an einer einphasiger Steckdose und am Anschlusspunkt*

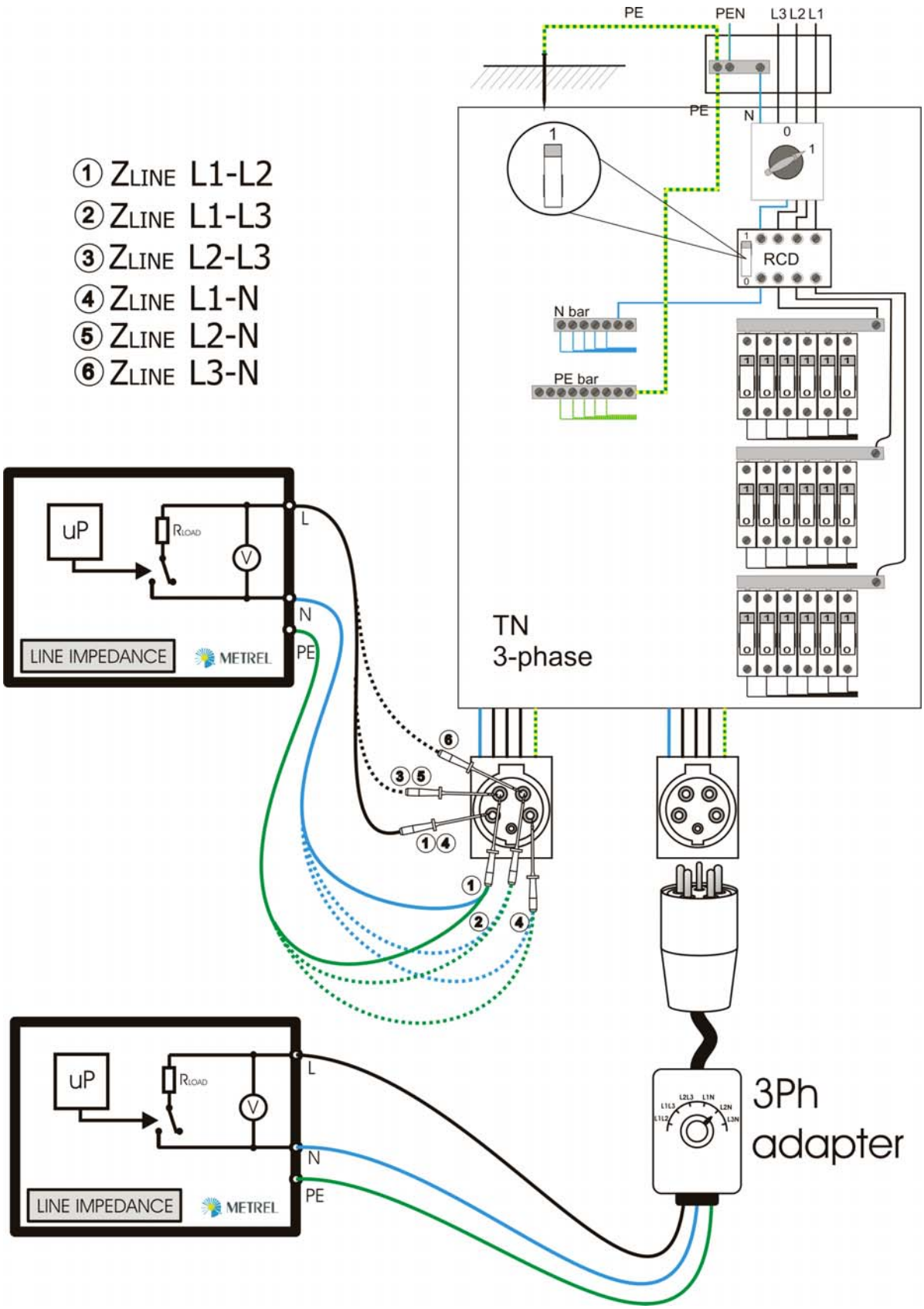


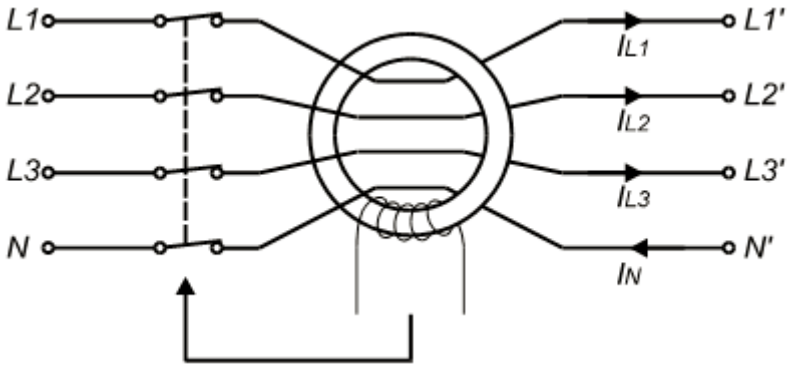
Bild 72: *Leitungsimpedanz an Drehstromsteckdosen*

6.2.6 RCD-Prüfung

Umfang der Prüfung
RCD-Geräte werden als Schutz gegen gefährliche Fehlerspannungen und Fehlerströme eingesetzt. In TT-Netzen können relativ niedrige Leckströme (Fehlerströme) zwischen Phase und Schutzleiter zu einer gefährlichen Berührungsspannung an freiliegenden Metallteilen führen.
Der Umfang der Prüfung ist,

- die Wirksamkeit und einwandfreie Funktion der Fehlerstromabschaltgeräte zu überprüfen,
- die Trennzeiten und Auslöseströme von RCDs zu überprüfen,
- zu überprüfen, ob in der Anlage keine oder begrenzte Fehlerströme vorhanden sind. Die Summe der vorhandenen Fehlerströme und des Prüfstroms des Messgeräts kann den RCD auslösen.

RCDs – Reststromschutzgeräte (Fehlerstrom)
RCDs arbeiten auf Basis einer Differenz zwischen den Phasenströmen, die in verschiedene Lasten fließen, und dem Rückstrom, der durch den Nullleiter (optional) fließt. Wenn die Differenz höher als der Auslösestrom des installierten RCD-Schutzbausteins ist, löst das Gerät aus und schaltet dadurch die Netzspannung aus. Der Differenzstrom muss als Leckstrom (über die Isolation oder kapazitive Kopplung) oder als Fehlerstrom (über schadhafte Isolation oder teilweisen/vollständigen Kurzschluss zwischen spannungsführenden Teilen und berührbaren leitenden Teilen) nach Erde abfließen.



$I_\Delta = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} - I_N$

Bild 73: *Schematische Darstellung des RCD-Schutzgeräts*

RCD-Typen
Bezüglich der Kurvenform des Fehlerstroms gibt es drei Grundtypen von RCDs. Tabelle 26 zeigt, wie verschiedene RCD-Typen auf verschiedene Differenzstrom-Kurvenformen ansprechen.

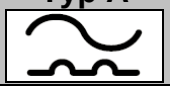
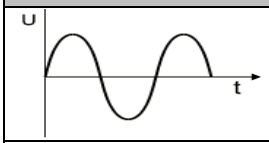
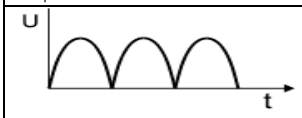
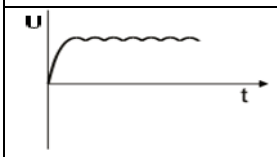
	Typ AC	**Typ A** 	**Typ B**
	✓	✓	✓
	Kein Ansprechen	✓	✓
	Kein Ansprechen	Kein Ansprechen	✓

Tabelle 26: *Empfindlichkeit verschiedener RCDs*

Man erkennt, dass
- RCDs vom Typ AC nur gegen Wechselleckströme schützen,
- RCDs vom Typ A gegen Wechsel- und pulsierende Leckströme schützen,
- nur RCDs vom Typ B die elektrische Anlage gegen alle Arten von Leckströmen schützen, einschließlich glatter Gleichstromleckagen.

RCDs vom Typ AC sind die einfachsten. Da jedoch viele elektronische Geräte pulsierende oder reine Gleichstromfehlerströme erzeugen können, wächst in letzter Zeit die Bedeutung von RCDs des Typs A und B. Typ A wird in vielen europäischen Ländern zum Standard-RCD-Typ. Typ B ist der universellste Typ und in besonderen Umgebungen vorgeschrieben.

Bezüglich der erforderlichen Auslösezeit von RCD-Schutzgeräten stehen zwei Typen zur Verfügung:
- **Standardtyp** (sofortiges Auslösen)
- **Selektiver Typ** (verzögertes Auslösen), markiert mit **S**

RCDs des selektiven Typs haben ein Auslöseverhalten mit verzögertem Ansprechen (einige 10 ms). Wenn eine Anlage mit mehreren RCDs geschützt wird, sind die selektiven RCDs gewöhnlich an der Eingangsseite der Anlage installiert. RCDs des Standardtyps werden den selektiven RCDs nachgeschaltet. Diese Schaltung erlaubt ein selektives Auslösen nur desjenigen Anlagenteils, in dem der Fehler auftrat.
Weitere Informationen zu Typen, Installation und Betrieb von RCDs finden Sie in Anhang A.

Bezugsdokumente:
Grenzwerte, Vorgehensweise: IEC 60364-4 (Kapitel 61.3.6.1 und 61.3.7)
Messgeräte: IEC 61557-6
RCD-Bausteine – Allgemeines: IEC 61008-1, IEC 61009-1, IEC 62423, IEC/TR 60755

Messprinzipien / Grenzwerte:
Die folgenden Parameter müssen in einer RCD-Prüfung geprüft werden:

- Berührungsspannung U_B,
- Erdungswiderstand R_E,
- Prüfung ohne Auslösen,
- Prüfung der Auslösezeit tΔ (gewöhnlich bei 1 I·ΔN und 5·IΔN) bei 0º und 180º Phase,
- Auslösestrom IΔ.

Prüfprinzip für RCDs
Das Prüfgerät wird an die Netzspannung angeschlossen (zwischen Phasen- und Schutzleiter) und belastet die Netzspannung mit dem gewählten Prüfstrom IΔ. Typische Prüfstromwerte sind.

- 0,45 IΔN für Prüfungen ohne Auslösen,
- 1,05 IΔN und 5,25 IΔN für Prüfungen der Auslösezeit,
- ansteigende Stromrampe für die Prüfung des Auslösestroms (zwischen 0,2 und 1,1 IΔN).

Der Spannungsabfall wird für die Prüfungen der Berührungsspannung/des Erdwiderstands gemessen:

$U_B=(U_{UNBELASTET}-U_{BELASTET)}$, bei IΔN *Gl. 43*

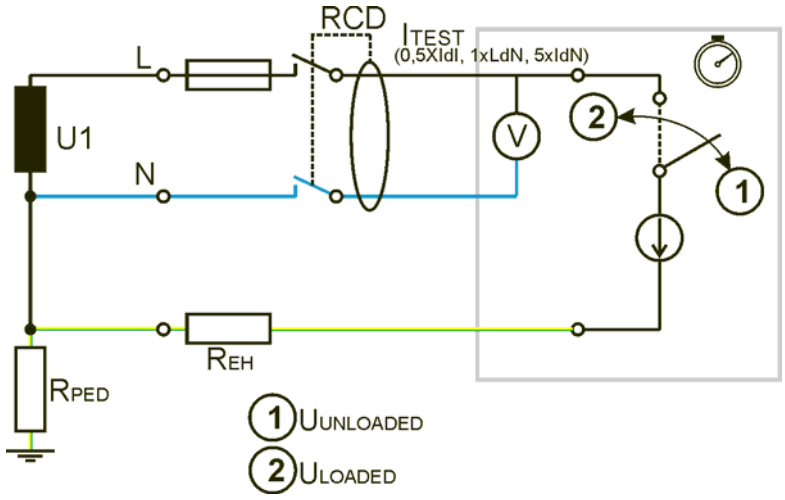


Bild 74: *RCD-Prüfungen – Messprinzip*

6.2.6.1 Prüfung ohne Auslösen, Prüfungen von Berührungsspannung und Fehlerschleifenwiderstand

Mit der Prüfung ohne Auslösen erzielte Prüfergebnisse:

- Fehlerschleifenwiderstand R_{SCHL},
- Berührungsspannung U_B,
- Überprüfung der korrekten Funktion des RCD (kein Auslösen),
- Bestätigung, dass in der Anlage zur Zeit der Messung kein Leckstrom vorhanden ist (kein Auslösen).

Berührungsspannung
Die Berührungsspannung darf 50 V nicht überschreiten. Die folgende Bedingung muss erfüllt sein:
U_B < 50 V (bei $I_{\Delta N}$).

Erdungswiderstand
In TT-Netzen stellt der Erdungswiderstand (R_{EH}) der Anlage gewöhnlich den Hauptanteil der Schleifenimpedanz dar. Die Bedingungen gemäß Gl 44 müssen erfüllt sein. Die Berührungsspannung darf beim Auslösen des RCD 50 V nicht überschreiten.

$$R_E < \frac{U_{B\text{Grenzw}}}{I_{\Delta N}} \qquad \textit{Gl. 44}$$

$U_{B\text{Grenzw}}$ ... Grenzwert Berührungsspannung (gewöhnlich 50 V)
R_E ..... Haupterdungswiderstand
$I_{\Delta N}$ ..... Nennauslösestrom des RCD

Zu Grenzwerten des Erdungswiderstands siehe Tabelle 25.

Prüfung ohne Auslösen
Die Prüfung ohne Auslösen ist bestanden, wenn der RCD nicht auslöst.

6.2.6.2 Prüfung der Auslösezeit

Mit der Prüfung der Auslösezeit erzielte Prüfergebnisse:
- Überprüfung der korrekten Funktion des RCD,
  - erfolgreiches Auslösen,
  - die Auslösezeit $t_{\Delta N}$ bei $I_{\Delta N}$ liegt innerhalb vorgegebener Grenzwerte.

Mit der Rampenstromprüfung erzielte Prüfergebnisse:
- Überprüfung der korrekten Funktion des RCD,
  - erfolgreiches Auslösen,
  - Strom IΔ und Auslösezeit tΔ bei IΔ (Strom, bei dem der RCD auslöste) liegen innerhalb vorgegebener Grenzwerte.

RCD-Prüfergebnisse – Grenzwerte

Auslösezeit bei 0,5; 1; 2; 5 $I_{\Delta N}$
Die Auslöseprüfung ist bestanden, wenn der RCD innerhalb der in Tabelle 27 angegebenen Zeit auslöst.

RCD-Typ	RCD-Prüfstrom			
	½×$I_{\Delta N}$ *)	$I_{\Delta N}$	2×$I_{\Delta N}$	5×$I_{\Delta N}$
Allgemeine RCDs (unverzögert)	Kein Auslösen	t_Δ < 300 ms	t_Δ < 150 ms	t_Δ < 40 ms
Selektive RCDs (zeitverzögert)	Kein Auslösen	130 ms < t_Δ < 500 ms	60 ms < t_Δ < 200 ms	50 ms < t_Δ < 150 ms

Tabelle 27: *Auslösezeiten nach IEC 60364-4-41*

Hinweis:

- Die bevorzugten Auslösezeiten, die Messzeit zum Auslösen und die Größe des Prüfstroms weichen in einigen anderen Normen leicht ab.
- Die Installationstester EUROTEST von METREL ermöglichen die Auswahl unterschiedlicher Normen für die RCD-Prüfungen. Grenzwerte, Prüfzeiten und Stromstärke werden automatisch an die gewählte Norm angepasst.

6.2.6.3 Prüfung des Auslösestroms

Auslösestrom I_Δ

Zum Prüfen der Empfindlichkeitsschwelle für das Auslösen des RCDs ist ein stetig ansteigender Reststrom vorgesehen (siehe Bild 75). Die Prüfung ist bestanden, wenn der RCD bei Strömen nach Tabelle 28 auslöst.

RCD-Typ	Anstiegsbereich		Wellenform
	Startwert	Endwert	
AC	$0{,}2\times I_{\Delta N}$	$1{,}0\times I_{\Delta N}$	Sinus
A ($I_{\Delta N} \geq 30$ mA)	$0{,}35\times I_{\Delta N}$	$1{,}4\times I_{\Delta N}$	Gepulst
B	$0{,}5\times I_{\Delta N}$	$2{,}0\times I_{\Delta N}$	

Tabelle 28: *Auslöseströme nach IEC/TR 60755*

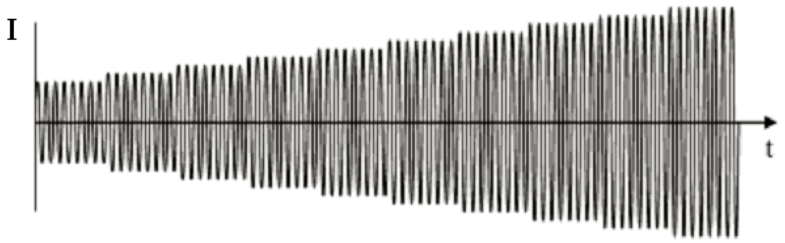


Bild 75: *Stromkurvenform zur Messung des Auslösestroms*

Anschlussschaltbilder

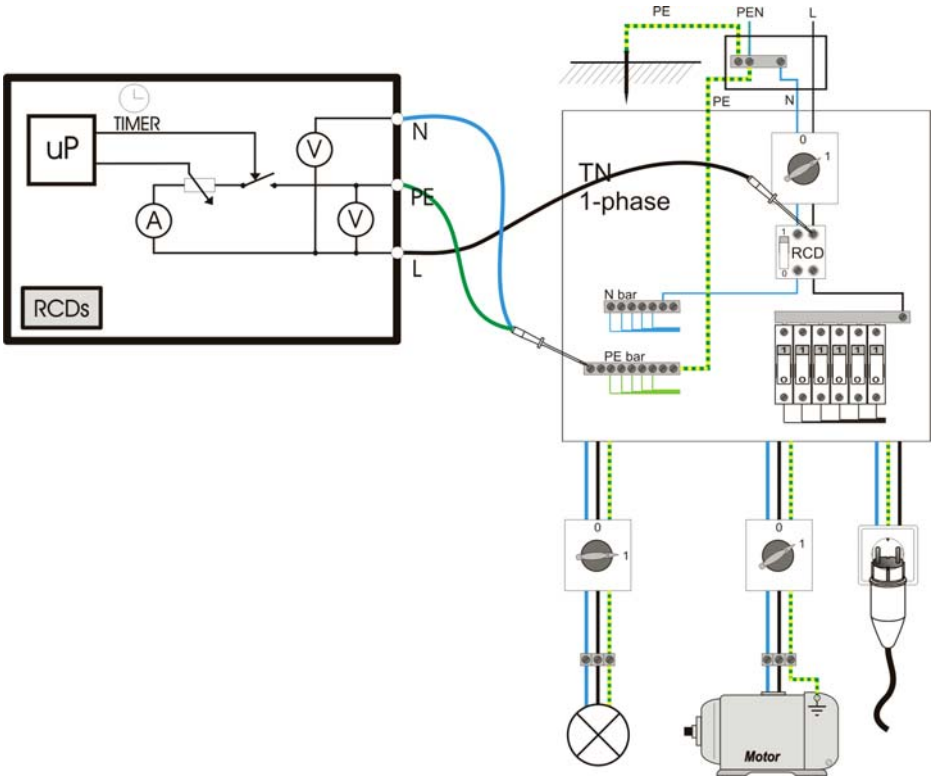


Bild 76: *RCD-Prüfung an der Schalttafel*

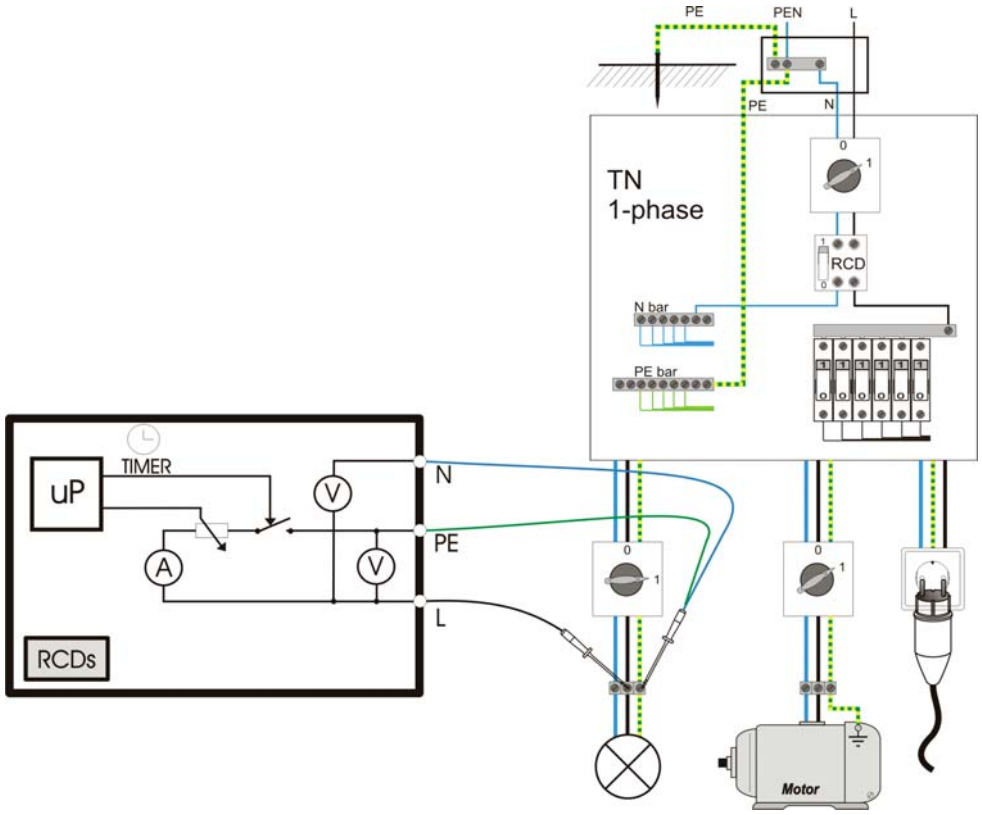


Bild 77: *RCD-Prüfung an Steckdose und Anschlusspunkt*

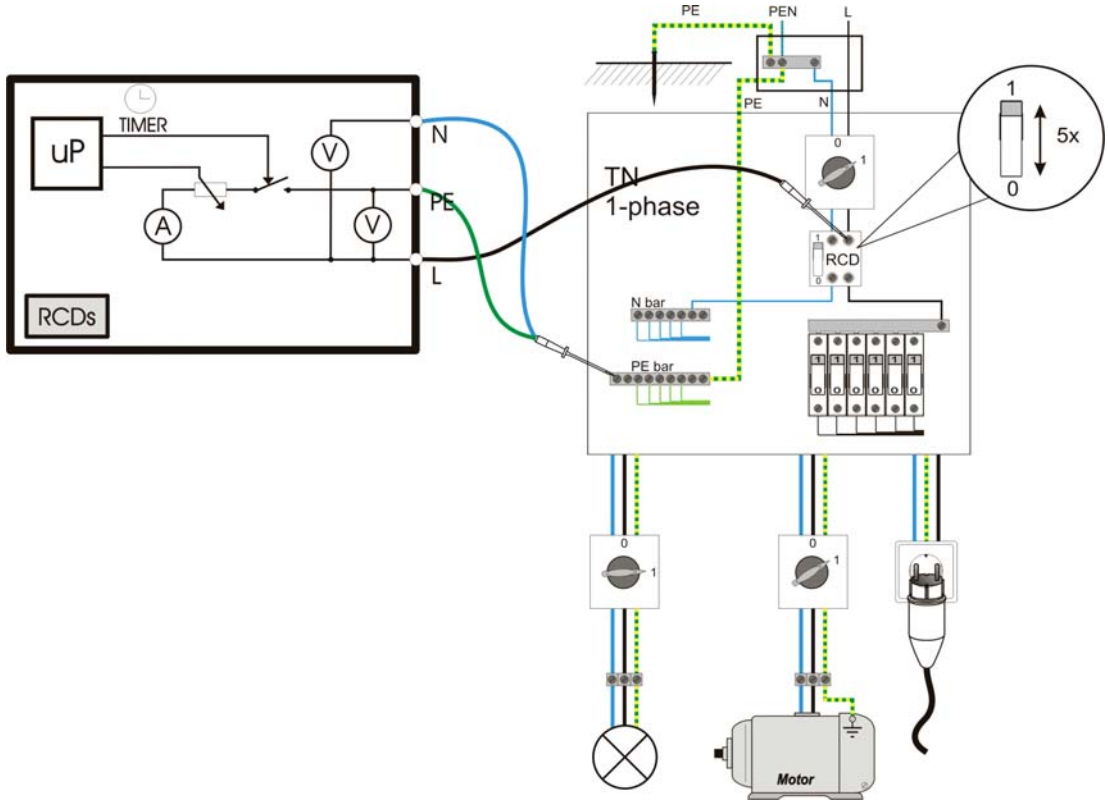


Bild 78: *RCD-Prüfung an der Schalttafel (Funktion RCD AUTO)*

Hinweis von METREL:
Die Installationstester von METREL besitzen die eingebaute Funktion „RCD AUTO“. Mit dieser Funktion können alle relevanten Prüfungen in einem Schritt ausgeführt werden. Sie ist ein sehr einfaches und zeitsparendes Funktionsmerkmal.

6.2.7 Phasenfolge

Umfang der Prüfung
Die Phasenspannungen in mehrphasigen Wechselspannungsnetzen sind in einer vorgegebenen Reihenfolge gegeneinander verzögert. Diese Reihenfolge legt die Drehrichtung von Motoren und Generatoren fest.
In Dreiphasensystemen sind die Phasenspannungen um 120° gegeneinander verschoben; das Vertauschen zweier beliebiger Phasen ändert die Drehrichtung.
In der Praxis geht es oft darum, dreiphasige Lasten (Motoren oder andere elektromechanische Maschinen) an die Anlage mit dreiphasigem Netz anzuschließen. Einige Lasten (Ventilatoren, Förderbänder, Motoren, elektromechanische Maschinen usw.) erfordern eine genaue Phasendrehung, und einige können sogar Schaden nehmen, wenn die Drehrichtung umgedreht wird. Daher ist anzuraten, vor dem Anschließen die Phasendrehung zu prüfen.

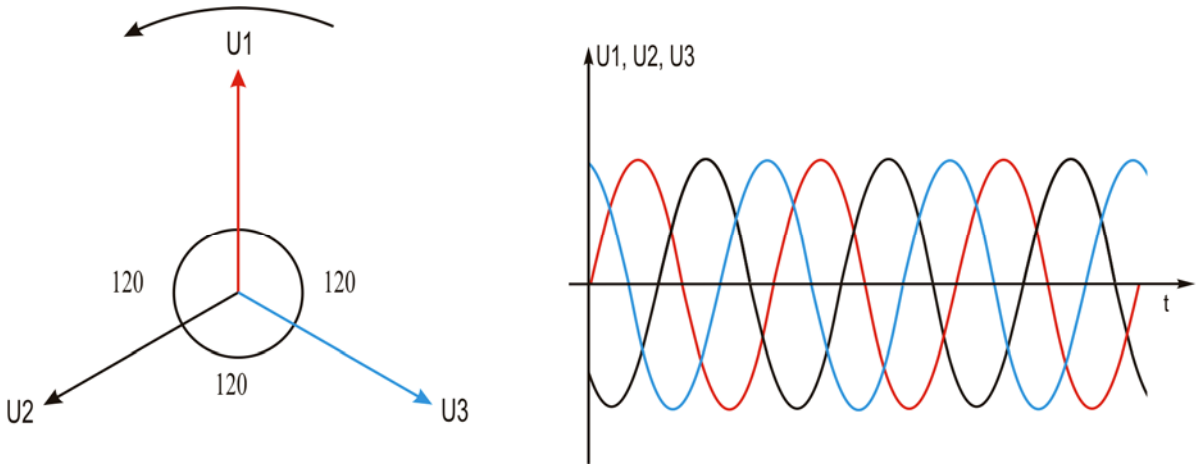


Bild79: *3-Phasen-Spannungsdiagramme*

Bezugsdokumente:
Vorgehensweise: IEC 60364-6 (Kapitel 61.3.9),
Messgeräte: IEC 61557-7

Messprinzipien / Grenzwerte:
Das Prüfgerät vergleicht alle drei Spannungen Phase-Phase bezüglich Amplitude und Phasenverzögerung. Die Phasendrehung wird auf dieser Grundlage bestimmt. Gegebenenfalls müssen zwei Phasenleiter vertauscht werden, um die Phasendrehung umzukehren.
Die Prüfung kann im Vergleich bezüglich einer Referenznetzsteckdose vorgenommen werden.

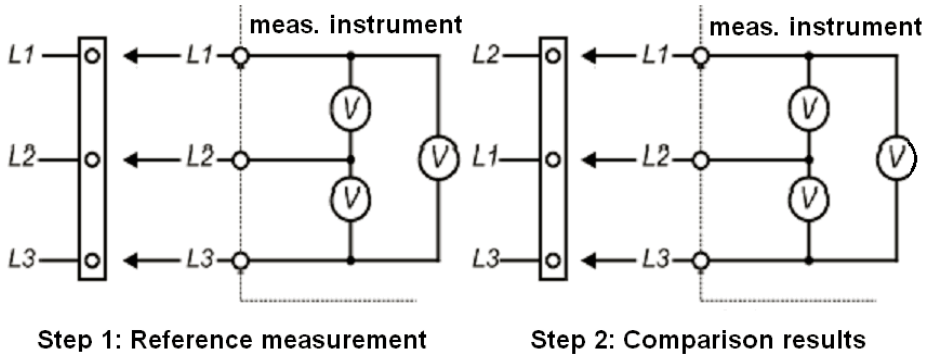


Bild 80: *Prinzip der Drehfeldmessung*

Prüfverfahren:
Zuerst sollte die Phasendrehung an der Referenznetzsteckdose gemessen werden, an der das Verhalten einer bestimmten Maschine (d. h. die Richtung der Phasendrehung) bekannt ist. Die Richtung sollte notiert werden.
Die Messung sollte an der unbekannten Netzsteckdose wiederholt und die beiden Ergebnisse müssen verglichen werden.
Gegebenenfalls müssen zwei Phasenleiter vertauscht werden, um die Phasendrehung umzukehren.

Ergebnisse:
„Gut“ bedeutet, dass am Anschluss eine Drehrichtung im Uhrzeigersinn (Anzeige von METREL-Installationstestern: 1.2.3) vorliegt. „Schlecht“ bedeutet die entgegengesetzte Richtung (entgegen dem Uhrzeigersinn; die Anzeige lautet 2.1.3 oder 3.2.1). In diesem Fall müssen zwei Phasenleiter vertauscht werden, um „Gut“ zu erreichen.

Anschlussschaltbilder

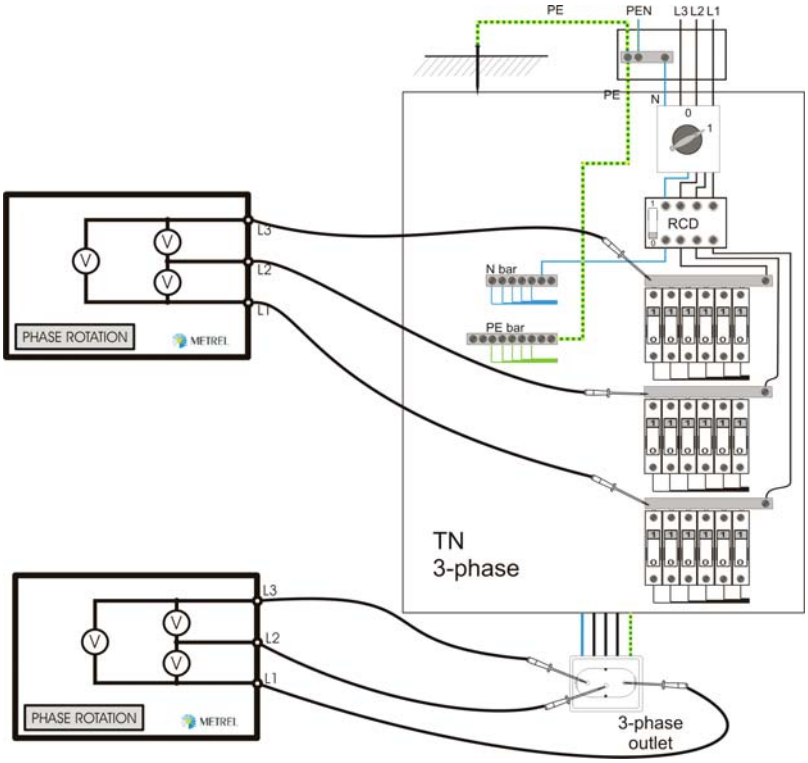


Bild 81: *Drehfeldprüfung*

7 Moderne Arbeitsprinzipien zur Überprüfung von Installationen

Eine vollständige Überprüfung einer elektrischen Anlage besteht aus vielen Maßnahmen.
Neue, innovative Arbeitstechniken, die von METREL entwickelt wurden, ermöglichen es, Überprüfungen von Installationen schneller, effizienter und genauer durchzuführen als mit Standardmethoden. Diese neuen Techniken und Praktiken werden in diesem Kapitel beschrieben.
Die Flussdiagramme in den Bildern 82 und 83 zeigen Maßnahmen und Zeitaufwand zur Überprüfung einer elektrischen Hausanlage mittlerer Größe.
Dabei wird vorausgesetzt, dass gut geführte Projektunterlagen zur Verfügung stehen und die Elektriker die Installationsarbeiten ohne größere Fehler ausgeführt haben.
Man erkennt, dass der Einsatz der vorgeschlagenen Techniken und Praktiken eine Menge Zeit sparen kann.

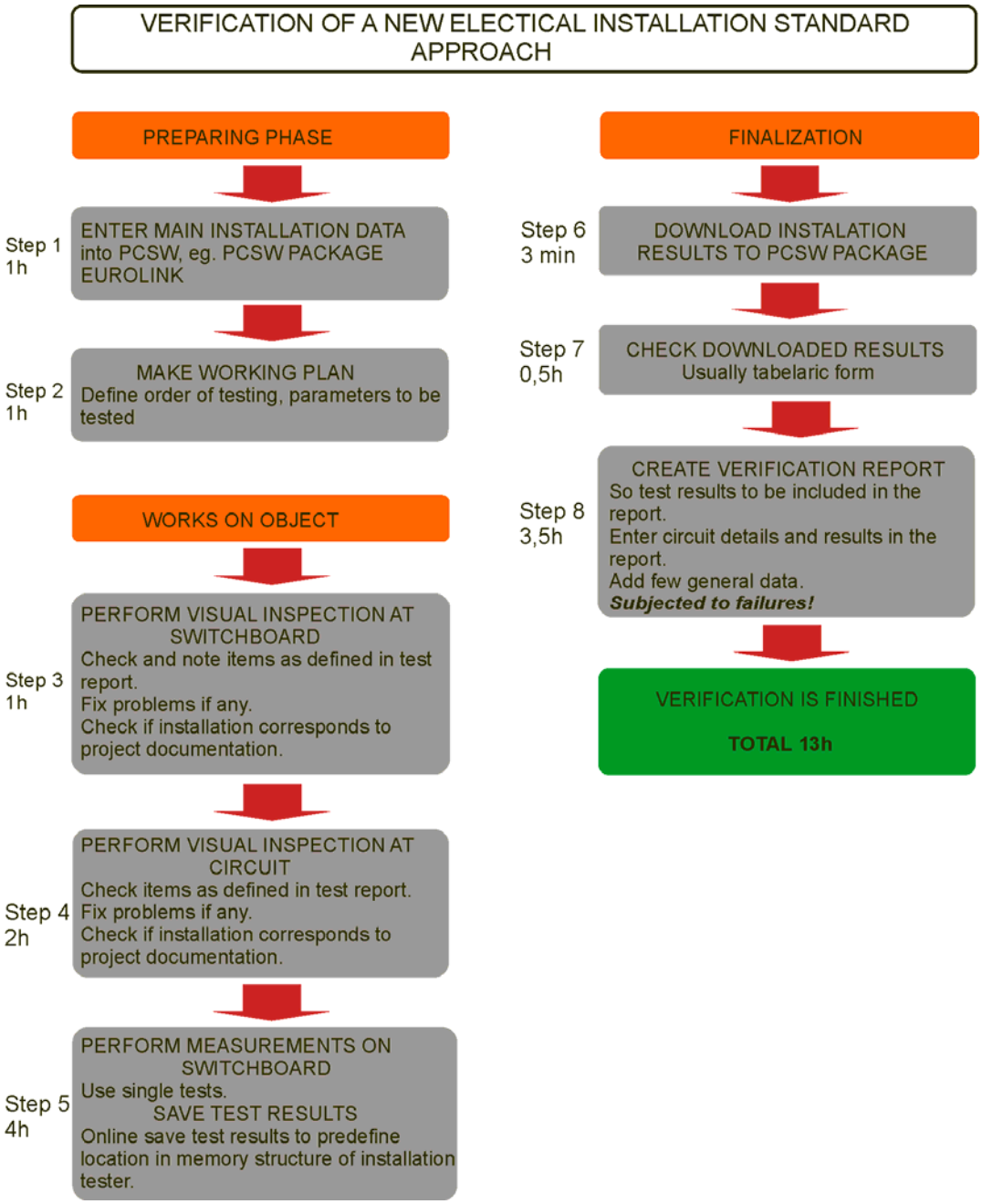

VERIFICATION OF A NEW ELECTICAL INSTALLATION STANDARD APPROACH
PREPARING PHASE
Step 1 1h
ENTER MAIN INSTALLATION DATA into PCSW, eg. PCSW PACKAGE EUROLINK
Step 2 1h
MAKE WORKING PLAN
Define order of testing, parameters to be tested
WORKS ON OBJECT
Step 3 1h
PERFORM VISUAL INSPECTION AT SWITCHBOARD
Check and note items as defined in test report.
Fix problems if any.
Check if installation corresponds to project documentation.
Step 4 2h
PERFORM VISUAL INSPECTION AT CIRCUIT
Check items as defined in test report.
Fix problems if any.
Check if installation corresponds to project documentation.
Step 5 4h
PERFORM MEASUREMENTS ON SWITCHBOARD
Use single tests.
SAVE TEST RESULTS
Online save test results to predefine location in memory structure of installation tester.
FINALIZATION
Step 6 3 min
DOWNLOAD INSTALATION RESULTS TO PCSW PACKAGE
Step 7 0,5h
CHECK DOWNLOADED RESULTS
Usually tabelaric form
Step 8 3,5h
CREATE VERIFICATION REPORT
So test results to be included in the report.
Enter circuit details and results in the report.
Add few general data.
Subjected to failures!
VERIFICATION IS FINISHED
TOTAL 13h

Bild 82: *Flussdiagramm Überprüfung – Standardansatz*

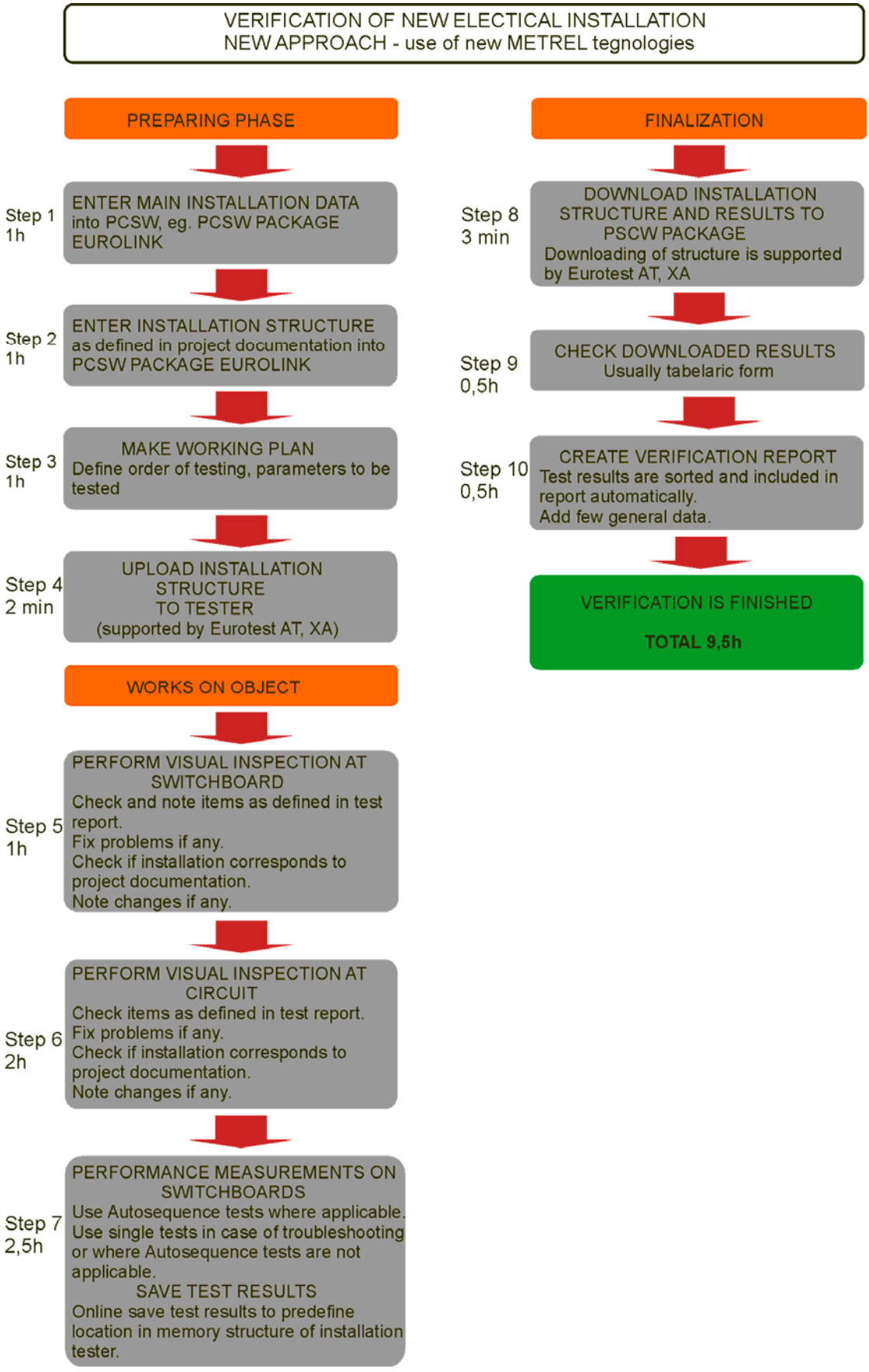

VERIFICATION OF NEW ELECTICAL INSTALLATION
NEW APPROACH - use of new METREL tegnologies
PREPARING PHASE
Step 1
1h
ENTER MAIN INSTALLATION DATA into PCSW, eg. PCSW PACKAGE EUROLINK
Step 2
1h
ENTER INSTALLATION STRUCTURE as defined in project documentation into PCSW PACKAGE EUROLINK
Step 3
1h
MAKE WORKING PLAN
Define order of testing, parameters to be tested
Step 4
2 min
UPLOAD INSTALLATION STRUCTURE TO TESTER
(supported by Eurotest AT, XA)
WORKS ON OBJECT
Step 5
1h
PERFORM VISUAL INSPECTION AT SWITCHBOARD
Check and note items as defined in test report.
Fix problems if any.
Check if installation corresponds to project documentation.
Note changes if any.
Step 6
2h
PERFORM VISUAL INSPECTION AT CIRCUIT
Check items as defined in test report.
Fix problems if any.
Check if installation corresponds to project documentation.
Note changes if any.
Step 7
2,5h
PERFORMANCE MEASUREMENTS ON SWITCHBOARDS
Use Autosequence tests where applicable.
Use single tests in case of troubleshooting or where Autosequence tests are not applicable.
SAVE TEST RESULTS
Online save test results to predefine location in memory structure of installation tester.
FINALIZATION
Step 8
3 min
DOWNLOAD INSTALLATION STRUCTURE AND RESULTS TO PSCW PACKAGE
Downloading of structure is supported by Eurotest AT, XA
Step 9
0,5h
CHECK DOWNLOADED RESULTS
Usually tabelaric form
Step 10
0,5h
CREATE VERIFICATION REPORT
Test results are sorted and included in report automatically.
Add few general data.
VERIFICATION IS FINISHED
TOTAL 9,5h

Bild 83: *Flussdiagramm Überprüfung – neu vorgeschlagener Ansatz*

7.1 Arbeitsphasen

7.1.1 Vorbereitungsphase

Die Vorbereitungsphase umfasst Maßnahmen vor der direkten Arbeit an dem zu prüfenden Objekt.

Durchsicht der Projektunterlagen

- Abschätzung des Arbeitsumfangs (auf Basis der Größe der Anlage)
- Durchsicht der Unterlagen:
  - Sind sie vollständig?
  - Sind sie verständlich?

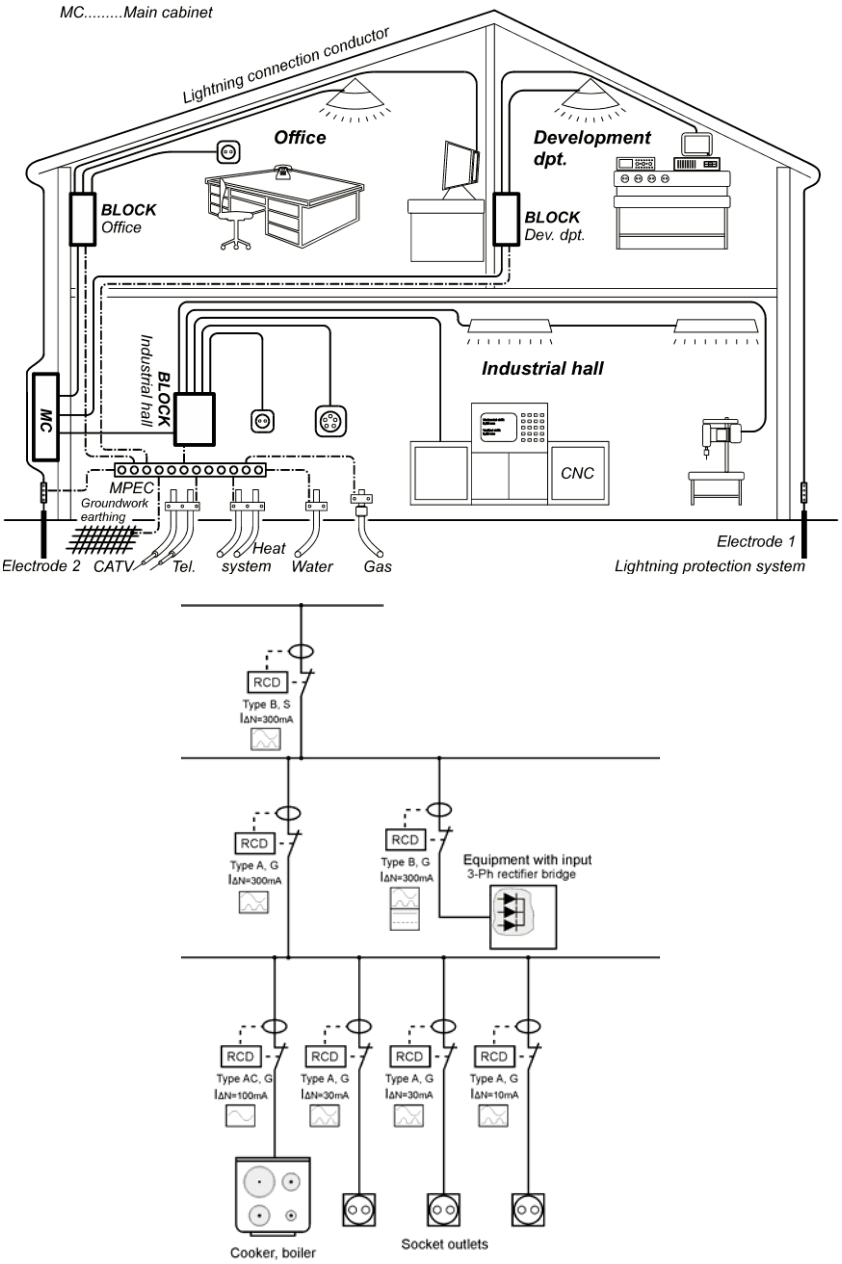


Bild 84: *Ausschnitte einer Projektdokumentation*

Aufstellen eines Arbeitsplans

- Festlegen der Ressourcen (wie viele Instrumente, Materialien und Elektriker werden benötigt) für die Ausführung der Überprüfung,
- Festlegen der Reihenfolge und des Umfangs der Prüfungen (Schalttafeln, Stromkreise),
- Überprüfen, ob besondere Messgeräte / Zubehörteile / Fertigkeiten benötigt werden.

Öffnen eines neuen Projekts in der PC-Software (EurolinkPRO), Erstellen und Hochladen der Anlagenstruktur in einen Installationstester (Eurotest AT,XA).

Dieselbe Anlagenstruktur wie in der Projektdokumentation kann mit den PC-Softwarepaketen von METREL erstellt und in das Messgerät geladen werden (siehe Bild 85). Damit stellt das Instrument seine Speicherorganisation um, sodass sie der Struktur der gemessenen Anlage entspricht. Die Strukturelemente umfassen Attribute wie Schalttafel, Stromkreis, Erdverbindung, Namen usw.

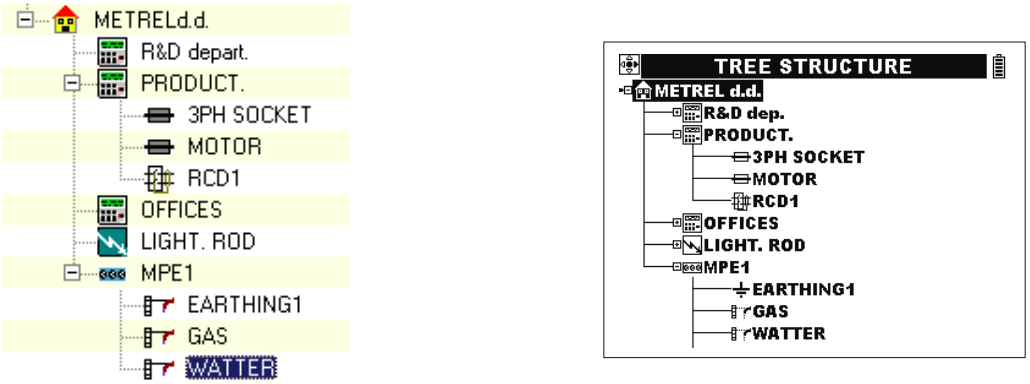


Bild 85: *Beispiel der mit der Eurolink-PC-Software erstellten und in den Installationstester Eurotest AT geladenen Anlagenstruktur*

Der Vorteil dieser Technik ist, dass jedes Messergebnis die genaue Information darüber enthält, wozu es gehört, z. B.: zu einer Schalttafel, einem Stromkreis, einer Erdungsverbindung. Dies vereinfacht weitere Schritte der Überprüfung beträchtlich:

Vorteile am Prüfort:

- Der Anwender braucht sich nicht darum zu kümmern, wo und wie er die Ergebnisse speichern soll. Es ist klar zu erkennen, wohin einzelne Messungen in der Anlagenstruktur gehören.
- Gemessene und gespeicherte Ergebnisse sind leicht zugänglich und abrufbar.
- Man kann leichter überprüfen, ob alle benötigten Messungen durchgeführt wurden, d. h. ob einige Messungen fehlen.
- Einfacherer Umgang mit dem Installationstester.

Vorteile bei der Erstellung des Prüfprotokolls:

- Automatische Erstellung des Überprüfungsprotokolls.

Weitere Informationen über den Aufbau einer korrekten Anlagenstruktur finden Sie in Kapitel 7.2.

7.1.2 Arbeiten am Objekt

Allgemein ist die Arbeitsabfolge die folgende:

Sichtprüfung
Die Inspektion/Sichtprüfung muss als Erstes vor jeder Messung durchgeführt werden.
Weitere Informationen zur Sichtinspektion finden Sie in Kapitel 8.1.5.

Messungen

Prüfabfolge – die Standardmethode
Die Standardmethode setzt voraus, dass nach der Inspektion einige Tests durchgeführt werden, bevor der Strom eingeschaltet wird oder nachdem die betreffenden Anlagenteile von der Versorgung abgetrennt wurden. Mit den Prüfungen „ohne Versorgung“ kann die Grundsicherheit gegen direkte Berührung hergestellt werden.

Messungen mit abgeschalteter Versorgung („tote“ Prüfungen)
- Haupt- und Zusatzschutzleiteranschlüsse
- Isolationswiderstände
- Haupterdung
- Anschluss- und Polaritätsprüfung (in einigen Ländern)

Die Messungen sollten am Eingang der Anlage beginnen und an den Schalttafeln sowie bis zu den entferntesten Anschlusspunkten der Stromkreise weitergehen.
Es muss darauf geachtet werden, dass während der Prüfungen alle Schalter, Sicherungen usw. zweckentsprechend ein- oder ausgeschaltet sind. Die Messergebnisse müssen gespeichert werden.

Wenn die Prüfungen ohne Versorgung bestanden sind, kann die Überprüfung mit Messungen bei eingeschalter Versorgung fortgesetzt werden.

Messungen mit eingeschalteter Versorgung (Prüfungen „unter Spannung“):
- RCD-Prüfungen
- Leitungs- und Schleifenimpedanz (voraussichtliche Fehlerströme)
- Drehfeldprüfungen
- Funktionsprüfungen von Schalteinrichtungen, Baugruppen usw.

Die Messungen sollten am Eingang der Anlage beginnen und an den Schalttafeln sowie bis zu den entferntesten Anschlusspunkten der Stromkreise weitergehen.
Es muss darauf geachtet werden, dass während der Prüfungen alle Schalter, Sicherungen usw. zweckentsprechend ein- oder ausgeschaltet sind. Die Prüfergebnisse müssen gespeichert werden.

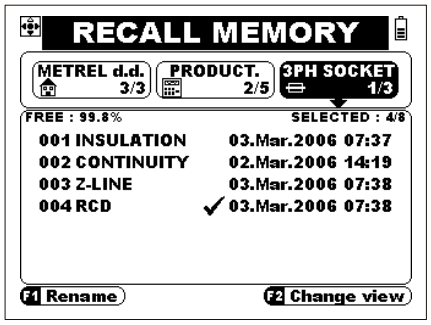
Alternative Messmethoden und -abfolgen
Da die Standardmethode relativ zeitaufwendig ist, wurden viele schnellere alternative Messungen und Methoden entwickelt.
Wichtiger Hinweis!
- **Alternative Messverfahren werden nicht in allen Ländern als regelgerecht betrachtet!**
- **Es hängt von den Vorschriften und Verfahrensregeln in einzelnen Ländern ab, welche alternative Messverfahren gültig sind.**

- **Dieser Leitfaden sagt nichts über die Gültigkeit der beschriebenen alternativen Methoden in einzelnen Ländern aus.**

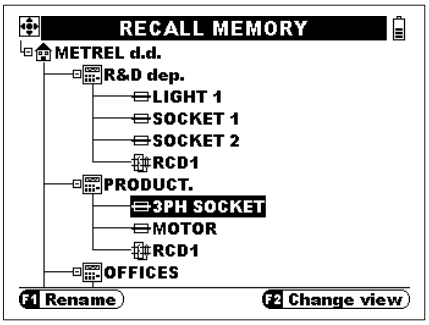
Einige (alternative) Messungen können die Gesamtprüfzeit reduzieren, indem
- die Isolationswiderstandsprüfung für die gesamte Anlage in einem Schritt durchgeführt wird (zu weiteren Informationen siehe Kapitel 6.2.1.2),
- die Durchgangsprüfung zwischen den N- und PE-Anschlüssen in TN-Netzen (Überprüfung des Schutzleiterdurchgangs) mit der N-PE-Schleifenprüfung durchgeführt wird (zu weiteren Informationen siehe Kapitel 6.2.2.2),
- die Überprüfung der Funktion (Auslöseprüfungen) von RCDs an der Schalttafel durchgeführt wird. Nur nicht auslösende RCD-Prüfungen (U_B usw.) werden dann an Stromkreisen vorgenommen.

Andere Lösungen zur Reduzierung der Gesamtüberprüfungszeit
- Messungen können viel schneller unter Verwendung von ***AUTOSEQUENCE***©-Verfahren ausgeführt werden. Weitere Informationen finden Sie in Kapitel 7.3.
- Wenn die Messparameter (Grenzwerte, Parameter der installierten Sicherung usw.) korrekt eingestellt sind, sind GUT-/SCHLECHT-Entscheidungen vor Ort möglich. Die EUROTEST-Geräte ermöglichen die Auswertung aller Prüfergebnisse vor Ort, einschließlich der Z_{LEIT}- und Z_{SCHL}-Ergebnisse (weil sie die Sicherungstabelle integriert haben); weitere Informationen siehe Kapitel 6.2.4 und 6.2.5.
- Prüfungen „Insulation ALL“ (gesamte Isolation) (weitere Informationen finden Sie in Kapitel 6.2.1.2.).
- Prüfung „RCD AUTO“ (weitere Informationen finden Sie in Kapitel 6.2.6.3.).

Nach Abschluss der Arbeitsphase sind alle Messergebnisse im Speicher des Instruments abgelegt. In den METREL-Installationstestern Eurotest AT, XA werden neben Prüfergebnissen auch Prüfpunktattribute und Parameter gespeichert.



Grundansicht



Baumstrukturansicht

Bild 86: *In Eurotest AT, XA sind Prüfergebnisse, Parameter und Anlagenattribute gespeichert*

7.1.3 Abschluss

Herunterladen von Messergebnissen und Anlagenstruktur in die PC-Software sowie ihre Überprüfung

Nachdem Messergebnisse und Struktur in die PC-Software heruntergeladen wurden, sollten sie zuerst überprüft werden. EurolinkPRO beinhaltet eine einfache Tabelle für die Anzeige der Prüfergebnisse.

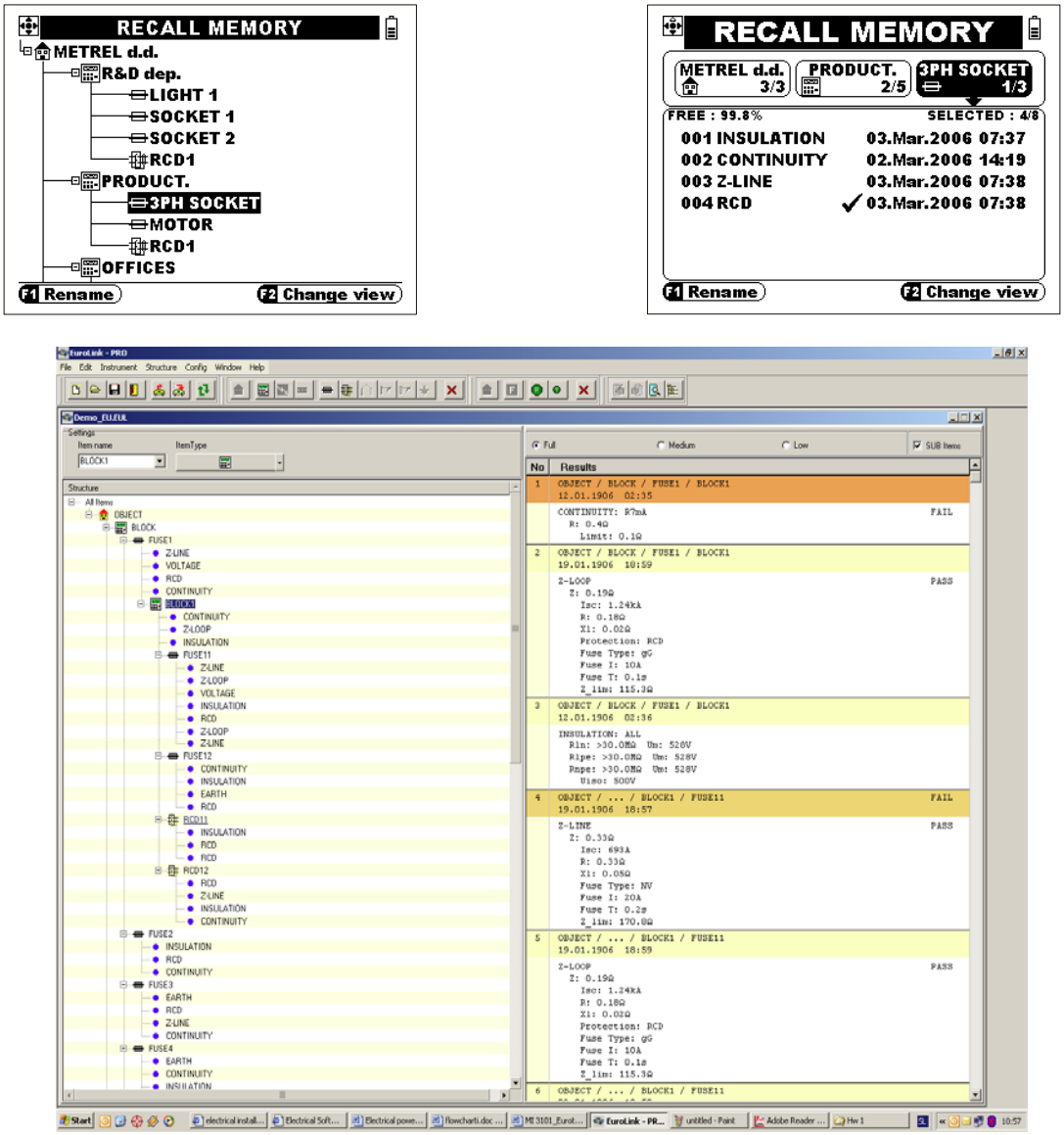


Bild 87: *In die PC-Software EurolinkPRO heruntergeladene gespeicherte Prüfergebnisse, Parameter und Anlagenattribute; Ergebnisse in Tabellenform*

Erstellung des Überprüfungsprotokolls

Das Überprüfungsprotokoll muss auf Grundlage der Projektdaten und der Prüfergebnisse erstellt werden.

Zu jedem Prüfergebnis müssen die folgenden Daten im Überprüfungsprotokoll enthalten sein:

Informationen über den Prüfort

- Genaue Bedeutung in der Anlagenstruktur (Block, Stromkreis, Hauptpotentialausgleich usw.)
- Name der Örtlichkeit

Messparameter/-grenzwerte

- Alle für die GUT/SCHLECHT-Entscheidung benötigten Parameter. SCHLECHT-Ergebnisse können nicht in ein Überprüfungsprotokoll aufgenommen werden.
- Datum und Uhrzeit der Messung (optional)

Schritte der Erstellung

Eingabe der allgemeinen Anlagen- und Projektdaten

Art der Anlage, Daten des Kunden und des Bedieners, Daten über den Ursprung der Anlage usw. müssen im Überprüfungsprotokoll dokumentiert werden.
Weitere Informationen finden Sie in Kapitel 8.1.1.

GUT/SCHLECHT-Bewertung aller Ergebnisse

Alle Ergebnisse im Protokoll müssen GUT lauten. Jedes Prüfergebnis muss mit vorgegebenen Grenzwerten verglichen werden.

Sortieren der Ergebnisse

An Prüfstellen mit mehr als einem Prüfpunkt müssen nur die schlechtesten Ergebnisse dokumentiert werden. Zum Beispiel kann ein Stromkreis aus vielen Steckdosen bestehen. Die höchste Impedanz, die längste RCD-Auslösezeit, der höchste Schutzleiteranschlusswiderstand, der niedrigste Isolationswiderstand usw. werden in das Protokoll eingetragen.

Wenn nur Prüfergebnisse (ohne Parameter) zur Verfügung stehen und die GUT/SCHLECHT-Auswertung manuell durchgeführt werden muss, ist dies eine komplizierte und zeitraubende Arbeit.
METREL bietet verschiedene Werkzeuge, um die Erstellung zu vereinfachen und zu beschleunigen.

Automatische Erstellung des Überprüfungsprotokolls mit METREL-Werkzeugen

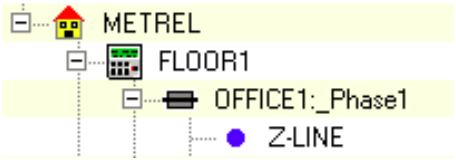
Die METREL-Installationstester und die PC-Software EurolinkPRO enthalten Funktionen, die eine automatische Erstellung des Überprüfungsprotokolls unterstützen.

Zuordnung relevanter Daten zu den Prüfergebnissen

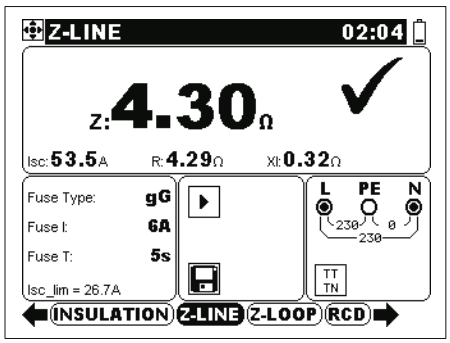
Informationen über den Prüfort können mit der PC-Software Eurolink während der Erstellung der Anlagenstruktur (vor oder nach der Prüfung) bearbeitet werden.
Messparameter/-grenzwerte werden vor der Durchführung der Prüfung mit den Eurotest-Prüfgeräten eingestellt.
Die GUT/SCHLECHT-Bewertung wird neben jedem Prüfergebnis angezeigt. Das ermöglicht eine Kontrolle der Ergebnisse vor Ort.

Beispiel

Das nachstehende Beispiel zeigt die Attribute für eine bestimmte Leitungsimpedanzmessung mit dem Ergebnis 4,30 Ω/53,5 A.



Ort: SICHERUNG
Name: OFFICE1_Phase1



Sicherungstyp: gG
Sicherungs-I_N: 6 A.
Sicherungs-t: 5 s
I_{SCLIM}: 26,7 A
Status: GUT

Bild 88: *Beispiel für Daten, die einem Prüfergebnis angefügt wurden*

No	Results	
1	METREL / FLOOR1 / OFFICE1: Phase1 19.01.1906 18:57	FAIL
	Z-LINE Z: 0.33Ω Isc: 693A R: 0.33Ω Xl: 0.05Ω Fuse Type: NV Fuse I: 20A Fuse T: 0.2s Z_lim: 170.8Ω	PASS

Bild 89: *Beispiel eines Prüfergebnisses mit allen zugehörigen Attributen für die Überprüfung*

Automatische Auswertung und Sortierung der Ergebnisse
Wenn die Prüfergebnisse alle Informationen für das Überprüfungsprotokoll enthalten, kann dieses automatisch erstellt werden.
In der METREL-PC-Software EurolinkPRO sind die Erstellungsregeln enthalten. Mit diesem Werkzeug entfällt das äußerst mühsame Ausfüllen von Schaltkreiseinzelheiten.

Die METREL-Überprüfungsprotokolle werden in Kapitel 8 beschrieben.

Dokumentation der Protokolle
Neben dem Überprüfungsprotokoll sollte das gesamte Eurolink-Projekt gespeichert werden.

Die Eurolink-Datei *.EUL enthält:

- Anlagenstruktur mit Attributen und Originalnamen
- Alle Prüfergebnisse mit zugehörigen Parametern und GUT/SCHLECHT-Entscheidungen
- Überprüfungsprotokoll

Die Anlagenstruktur kann für die regelmäßigen Überprüfungen wiederverwendet werden oder als Ausgangspunkt für ein weiteres Projekt dienen. Bei regelmäßigen Prüfungen an der unveränderten Anlage entfällt der größte Teil der Vorbereitungsphase.

7.2 Anlagenstruktur

Die PC-Software EurolinkPRO enthält ein Werkzeug zum Erstellen beliebiger Strukturen von Elektroanlagen. Jede nach IEC 60364 entworfene Elektroanlage kann mit den verfügbaren Elementen erstellt werden. Alle Elemente der Anlagenstruktur können umbenannt werden.
Die erstellte Anlagenstruktur kann zu/von METREL-Installationstestern Eurotest AT und XA geladen werden. Änderungen an der Struktur mit den Prüfgeräten vor Ort sind möglich.

Hauptelemente der Anlagenstruktur

Symbol	Bezeichnung	Beschreibung
	OBJEKT	Ort, an dem alle Messungen durchgeführt werden. Beispiel: METREL-Werk
	BLOCK	Verteilertafel, Schalttafel Beispiel: Verteilertafel 1
	MPE	Hauptpotentialausgleich Beispiel: MPE DB 1
	BLITZSCHUTZ	Blitzableiter des Blitzschutzsystems Beispiel: Blitzschutzsystem des METREL-Werks

Elemente eines BLOCKS

Symbol	Bezeichnung	Beschreibung
	SICHERUNG	SICHERUNG (STROMKREIS) Beispiel: KÜCHE Phase 1
	RCD	RCD Beispiel: Haupt-RCD

Elemente eines Hauptpotentialausgleichs

Symbol	Bezeichnung	Beschreibung
	VERBINDUNG MPE	Haupterdverbindung Beispiel: Gemeinschaftsantenne
	ERDUNG	Haupt- oder örtliche Erdung Beispiel: Haupterdungselektrode

Elemente eines BLITZSCHUTZSYSTEMS

Symbol	Bezeichnung	Beschreibung
	ELEKTRODE	Besondere Elektrode des Blitzschutzsystems Beispiel: Blitzschutzelektrode Nr. 11 des METREL-Werks
	VERBINDUNG ELEKTRODE	Verbindungen zur Blitzschutzelektrode Beispiel: erdverlegte Verbindung Nr. 11

Tabelle 29: *Bestandteile der Anlagenstruktur*

Allgemein ist die Anlagenstruktur eine Struktur mit offenen Typen. Jede Messung kann unter jedem Element/jedem Ort der Anlage gespeichert werden. Die offene Struktur ist flexibel und erlaubt dem Bediener, die gespeicherten Daten an seine Bedürfnisse anzupassen.

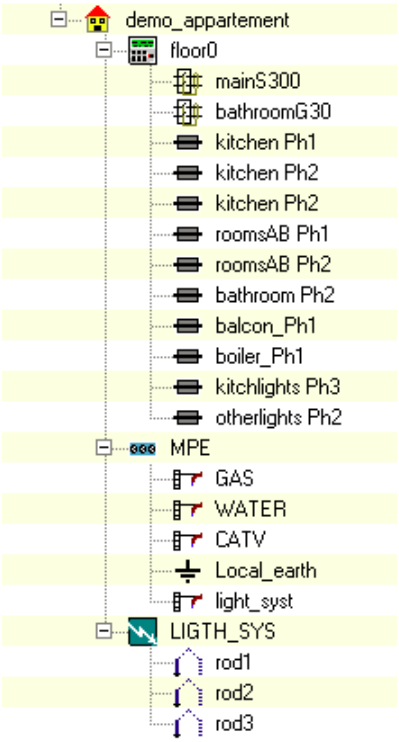


Bild 90: *Beispiel einer Anlagenstruktur mit allen Elementen der Anlagenstruktur*

Anlagenstruktur und Prüfergebnisse bilden die Grundlage zur Erstellung von Überprüfungsprotokollen. Wenn der Bediener einige einfache Regeln einhält, ermöglichen die METREL-Techniken die automatische Durchführung dieses Schritts.

Hauptregeln für die Erstellung von Überprüfungsprotokollen

- Die Ergebnisse von Messungen an Steckdosen, Schaltern und Anschlusspunkten im selben Stromkreis sollten alle unter demselben Anlagenstrukturelement SICHERUNG gespeichert werden. Die ungünstigsten Ergebnisse für R_{ISO}, Z_{LEIT}, Z_{SCHL}, RCD t, U_C und R_{PE} werden gesucht und im Protokoll gespeichert. Wenn sie zu einem anderen Anlagenstrukturelement gespeichert werden, wird SICHERUNG nicht in das Überprüfungsprotokoll importiert.
- Das Anlagenstrukturelement SICHERUNG sollte nicht in Unterelemente unterteilt werden.
- Es ist wichtig, dass die Messparameter im selben Stromkreis nicht verändert werden.
- Nicht für das Überprüfungsprotokoll relevante Messungen können im selben Anlagenstrukturelement wie die relevanten Ergebnisse gespeichert werden. Sie können angezeigt, ausgedruckt usw. werden, werden jedoch bei den Schritten zur Protokollerstellung ignoriert.
- Im Anlagenstrukturelement RCD sollten die Ergebnisse der Funktionstests des RCD bei der Schalttafel gespeichert werden. Derselbe RCD kann bei Steckdosen als Teil des Anlagenstrukturelements SICHERUNG gespeichert werden.
- Prüfergebnisse von primären und Haupttrenneinrichtungen können unter dem Anlagenstrukturelement BLOCK oder OBJEKT gespeichert werden. Jedoch müssen die Prüfergebnisse manuell in das Überprüfungsprotokoll eingetragen werden.

Hinweis:

- Die obigen Regeln gelten für das METREL-Standardüberprüfungsprotokoll, das möglichen Änderungen unterliegt.
- Die PC-Software EurolinkPRO muss für die automatische Protokollerstellung eine viel größere Menge von Regeln berücksichtigen. Die genauen Regeln übersteigen den Rahmen dieses Leitfadens.
- Die von METREL bereitgestellten Regeln zur Protokollerstellung sowie die Anlagenstrukturelemente für andere Überprüfungsprotokolle können beträchtlich abweichen.
- *Zur Unterstützung bei der Erstellung von Überprüfungsprotokollen wenden Sie sich an METREL.*

7.3 Autosequence

In diesem Kapitel wird die neue *AUTOSEQUENCE©*-Technik beschrieben. AUTOSEQUENCE© ist ein Werkzeug, das die Ausführung einer Gruppe von Messungen in vorprogrammierten Sequenzen unterstützt. Es gestattet schnellere und genauere Messungen. Diese Technik ist besonders effizient an Orten, an denen eine große Anzahl gleicher Prüfungen so schnell wie möglich durchgeführt werden muss.

Hauptvorteile der AUTOSEQUENCE©-Technik:

- Die Messungen werden schneller durchgeführt – es können mehr Messungen nacheinander ausgeführt werden.
- Die Messungen werden auf einfachere, sicherere und genauere Weise durchgeführt (weniger Bedienungen am Gerät).
- Einfaches Einstellen der Prüfparameter (Sicherungstyp/-charakteristik/-wert, Grenzwerte, RCD-Typ), GUT- und SCHLECHT-Entscheidungen für Einzelprüfungen und Prüfungsgruppen.
- Bezeichnungen, Kommentare, Hinweise und Beschreibungen können mit einem benutzerfreundlichen Editor angefügt werden.
- Eine Datenbank gebräuchlicher Sequenzen ist bei METREL erhältlich.

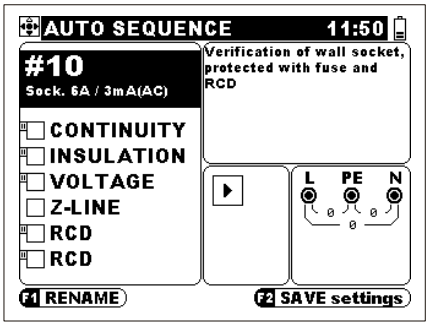


Bild 91: *Vorprogrammierte Sequenzen*

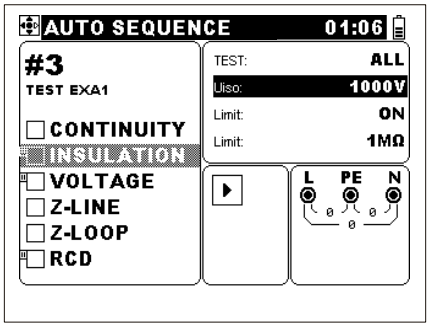


Bild 92: *Einfaches Einstellen der Parameter*

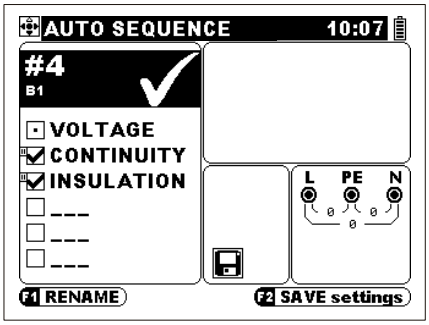


Bild 93: *GUT-, SCHLECHT-Bewertungen*

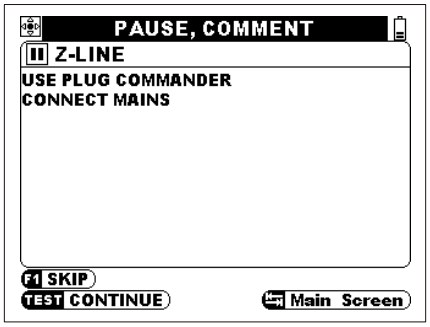


Bild 94: *Onlinewarnungen, Hinweise*

Wie wird die sequentielle Messung durchgeführt?

Vorbereitung:
Jedes sequentielle Messverfahren kann vorprogrammiert werden.
Die einfachste Möglichkeit ist es jedoch, von METREL angebotene vorprogrammierte Sequenzen zu verwenden. Nur Sicherung und RCD-Typ müssen dann im Feld gewählt werden.
Durchführung der Messungen:
Die einzelnen Messungen werden automatisch sequentiell ausgeführt. Der Installationstester überwacht im Betrieb den richtigen Anschluss am Prüfling und überprüft auf korrekte Mess- und Sicherheitsbedingungen (Spannungen, Impedanzen usw.) in den Anlagen.

Je nach Anwendung können die Verfahren mit oder ohne Zwischenstopps durchgeführt werden. Pausen (z. B. zum Umklemmen) können bei Bedarf vorprogrammiert werden.
Überprüfen der Ergebnisse
Am Ende der Prüfung

- werden Messergebnisse, Parameter und GUT/SCHLECHT-Entscheidungen für jede Prüfung angezeigt,
- wird die Gesamt-GUT/SCHLECHT-Entscheidung der Sequenz angezeigt.

Vergleich der Sicherheitsprüfverfahren für Elektroanlagen
Das nachstehende Beispiel zeigt die Hauptvorteile bei der Benutzung der Prüfverfahren AUTO SEQUENCE ®.

Art der Inspektion	Automatisches Prüfverfahren, Instrument arbeitet mit der patentierten ***AUTO SEQUENCE*** ®	Standard-c-Prüfverfahren mit beliebigem Instrument, das bedient wird mittels **Drehschalter, Tasten**

Erstinspektion der Anlage mit Einstellungen des Geräts und **Prüfung der Schalttafel mit:** • Sichtprüfung • Leitungs-/Schleifenimpedanz • Durchgang • Erdungswiderstand **und Prüfung von 10 Steckdosen mit:** • Prüfung der L/N/PE-Spannungspolarität • Leitungs-/Schleifenimpedanz • Durchgang • RCD dt, dI, Uc • Isolation L-N-PE	**Anzahl der Bedienungen** • Einstellungen 2x • Umklemmen 12x • Prüfen 11x • Überprüfen 11x • Speichern 11x **Gesamtzahl der Bedienungen: 47.** **Arbeitszeit für erfahrenen Elektriker:** • < 5 min an der Schalttafel • < 1 min an jeder Steckdose **Insgesamt weniger als 15 Minuten.** Arbeitszeit für unerfahrenen Elektriker: • 5 min an der Schalttafel • 1 min an jeder Steckdose **Insgesamt 15 Minuten.**	**Anzahl der Bedienungen:** • Einstellungen 4 + 10x10 • Umklemmen 4 + 10x10 • Prüfen 4 + 10x10 • Überprüfen 4 + 10x10 • Speichern 4 + 10x10 **Gesamtzahl der Bedienungen: 520.** **Arbeitszeit für erfahrenen Elektriker:** • 5 Minuten an der Schalttafel • 3 min an der Steckdose **Insgesamt mehr als 35 Minuten.** Arbeitszeit für unerfahrenen Elektriker: • 10 min an der Schalttafel • 5 min an jeder Steckdose **Insgesamt mehr als 60 Minuten.**
Regelmäßige Inspektion der Anlage mit Einstellungen des Geräts und **Prüfung der Schalttafel mit:** • Sichtprüfung • Leitungs-/Schleifenimpedanz • Durchgang • Erdungswiderstand • RCD dt, dI, Uc • Isolation L-PE/N-PE **und Prüfung von 10 Steckdosen mit:** • Prüfung der L/N/PE-Spannungspolarität • Leitungs-/Schleifenimpedanz • Durchgang • RCD U_B	**Anzahl der Bedienungen:** • Einstellungen 2x • Umklemmen 12x • Prüfen 11x • Überprüfen 11x • Speichern 11x **Gesamtzahl der Bedienungen: 47.** **Arbeitszeit für erfahrenen Elektriker:** • < 10 min an der Schalttafel • < 1/2 min an jeder Steckdose **Insgesamt weniger als 15 Minuten.** **Arbeitszeit für unerfahrenen Elektriker:** • 10 min an der Schalttafel • 1/2 min an jeder Steckdose **Insgesamt 15 Minuten.**	**Anzahl der Bedienungen:** • Einstellungen 6 + 10x7 • Umklemmen 6 + 10x7 • Prüfen 6 + 10x7 • Überprüfen 6 + 10x7 • Speichern 6 + 10x7 **Gesamtzahl der Bedienungen: 380.** **Arbeitszeit für erfahrenen Elektriker:** • 10 Minuten an der Schalttafel • 2 min an der Steckdose **Insgesamt mehr als 30 Minuten.** **Arbeitszeit für unerfahrenen Elektriker:** • 20 min an der Schalttafel • 4 min an jeder Steckdose **Insgesamt mehr als 60 Minuten.**

Ergebnisse:

- Zum Ausführen der Aufgabe werden weniger Bedienungen (Einstellen von Funktionen, Parametern und Grenzwerten sowie Handhabungen und Umklemmen) benötigt.
- Die Messungen werden schneller erledigt. Die Zeitersparnis wächst mit anspruchsvolleren Anwendungen.
- Benutzer mit geringerer Erfahrung können das Gerät für anspruchsvollere Anwendungen benutzen. (Die Sequenzen können vorher durch eine erfahrenere Person eingestellt werden.) Die Gefahr, Fehler zu begehen, ist geringer.

Es kann leicht gezeigt werden, dass ähnliche Verbesserungen bei fast jedem Messverfahren erreicht werden können.

Beispiele gebräuchlicher Autosequenzen

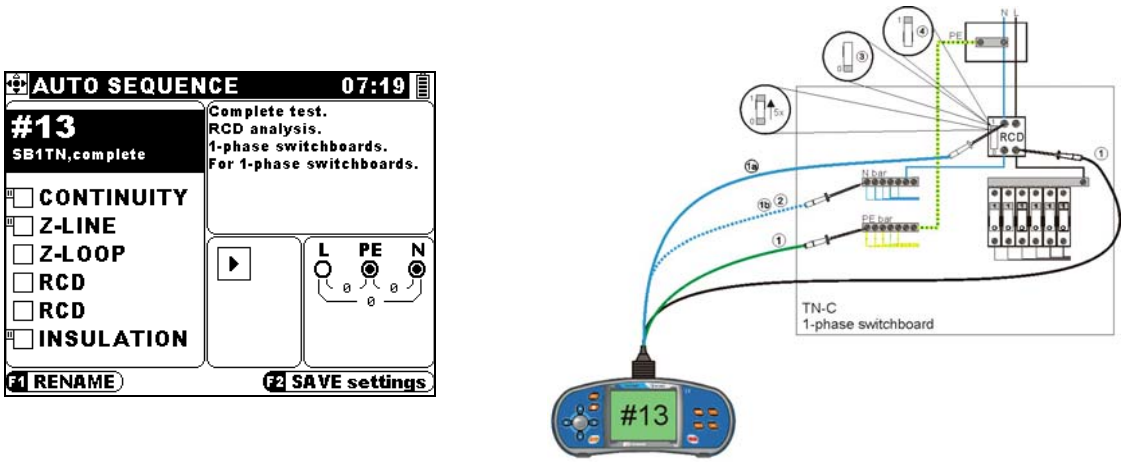
Überprüfung einer 1-phasigen Verteilertafel für TN-C(S)

Durchgeführte Prüfungen: ZLEIT, IPSC, ZSCHL, IPFC, RCD tΔN bei 1x IΔ, RCD tΔN bei 5x IΔ, RCD IΔ, U_B, Durchgang 200mA, RISO

Anwendung: Erstüberprüfung, regelmäßige Prüfung von Anlagen. Geeignet für TN-Erdungssysteme.

Beschreibung der Sequenz:

Mit dieser Prüfung werden alle festgelegten Sicherheitsparameter an einer einphasigen Schalttafel überprüft und mit vorgegebenen Grenzwerten verglichen – Isolationswiderstände, Funktionalität und Wirksamkeit des Schutzes durch RCDs und Sicherungen. Beim TN-C-System wird die Verbindung zwischen den N- und PE-Schienen überprüft.



Bild

95: *Einstellung von Autosequence und Anschlussschaltbild, Beispiel 1*

Sicherheitsüberprüfung einer einphasigen Steckdose

Durchgeführte Prüfungen: Z_{LEIT}, I_{PSC}, Z_{SCHL}, I_{PFC}, Durchgang 7 mA, RCD U_B

Anwendung: Schnelle Sicherheitsüberprüfung einer Steckdose. Geeignet für TN-Erdungssysteme, kein Auslösen des RCD.

Beschreibung der Sequenz:

Bei dieser Prüfung wird die Wirksamkeit einer installierten Überstromabschalteinrichtung (Sicherung) überprüft.

Leitungs-/Fehlerschleifenimpedanzen, voraussichtliche Kurzschluss-/Fehlerströme und Berührungsspannungswerte bei $I_{\Delta N}$ werden überprüft. Die Prüfergebnisse werden mit Grenzwerten aus der Sicherungsdatenbank verglichen.

Der Widerstand der N-PE-Schleife wird gemessen, um den Durchgang des PE-Leiters zu überprüfen.

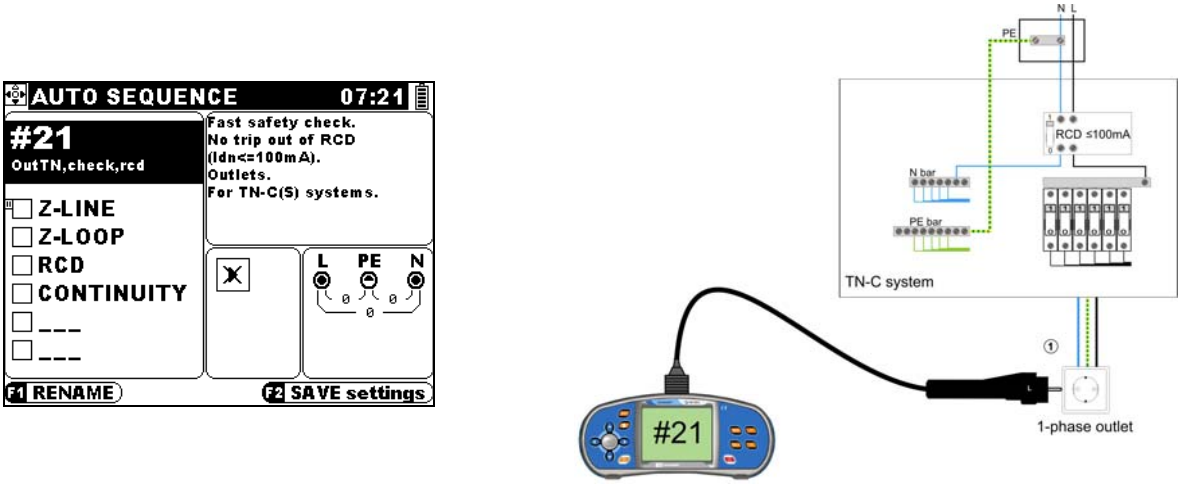


Bild 96: *Einstellung von Autosequence und Anschlussschaltbild, Beispiel 2*

Weitere Informationen über Autosequenzen finden Sie im METREL-Handbuch *Guide through Autosequences* (Leitfaden durch Autosequenzen).

8 Überprüfungsprotokolle

Der Zweck von Überprüfungsprotokollen ist,

- sicherzustellen, dass die Elektroanlage sicher in Betrieb genommen werden kann,
- sicherzustellen, dass die Anlage voraussichtlich bis zur nächsten regelmäßigen Überprüfung sicher bleibt,
- zu beweisen, dass die Inspektion und die Prüfungen entsprechend den Vorschriften durchgeführt wurden,
- zu beweisen, dass die Inspektion und die Prüfungen durch eine erfahrene und kompetente Person durchgeführt wurden,
- ein Protokoll mit allen notwendigen Informationen zur Sicherheit zu erhalten,
- im Falle eines Unfalls einen greifbaren Beweis zu liefern.

Formulare für Überprüfungsprotokolle
Es steht kein internationales Standardformular für Überprüfungsprotokolle zur Verfügung.
Der Inhalt und das Aussehen der Überprüfungsformulare weichen zwischen verschiedenen Ländern beträchtlich ab. METREL stellt verschiedene geeignete Formulare für Überprüfungsprotokolle für fast alle Länder weltweit bereit.

8.1 Vorschlag für ein Überprüfungsprotokoll nach IEC 60364-6: 2006

Die Norm IEC 60364-6:2006 enthält in ihren informativen Anhängen F und H einen Vorschlag für ein Überprüfungsprotokoll. Dieser Vorschlag ist ein sehr gutes Beispiel mit allen Punkten, die ein modernes Überprüfungsprotokoll enthalten sollte. In diesem Kapitel werden einzelne Teile des Vorschlags genauer beschrieben. Die Teile sind dieselben oder ähnlich wie in den aktuellen METREL-Überprüfungsprotokollen.

8.1.1 Beschreibung der Anlage / Projektdaten

Description of the installation for verification

NOTE Particularly suitable for domestic installations.

Type of verification:
Initial verification
Periodic verification

Client name and address:

Installation address:

Installer name and address:

Installation:
New Modification
Extension Existing

Name of inspector:

Description of installation work:

Date of inspection: Signature: .....

Identification of instruments used:

Type	Model	Serial number

Bild 97: *Vorschlag für ein Überprüfungsprotokoll nach IEC 60364-6 – Beschreibung der Anlage*

Art der Überprüfung

Erstüberprüfung

Die Erstüberprüfung findet nach Fertigstellung einer neuen Anlage oder nach Fertigstellung von Ergänzungen oder Änderungen an bestehenden Anlagen statt. Der Zweck der Erstüberprüfung ist eine vollständige und gründliche Sicherheitsüberprüfung vor der Inbetriebnahme der Anlage.

Regelmäßige Überprüfung

Die regelmäßige Überprüfung findet statt, damit man sicher ist, dass die Sicherheit der Benutzer nicht gefährdet ist, und dass sich die Anlage noch in einem sicheren und betriebsbereiten Zustand befindet.

Die Verfahren für die regelmäßige Überprüfung können von Ort zu Ort abweichen. Das ist darauf zurückzuführen, dass einige Teile der Anlage möglicherweise nicht zugänglich sind oder nicht vom Netz getrennt werden dürfen. Das Ausmaß der regelmäßigen Überprüfung sowie eventuelle Einschränkungen sollten zwischen Kunde

und Prüfer festgelegt werden. Die beiden Parteien sollten keine unnötigen Einschränkungen vereinbaren.
Wenn keine Unterlagen über frühere (Erst-, regelmäßige) Überprüfungen vorliegen, muss das Ausmaß der regelmäßigen Überprüfungen erweitert werden.

Name und Adresse des Kunden
Der Name und die Adresse der Person oder Organisation, die den Auftragnehmer beauftragt hat, die Installationsarbeit vorzunehmen.

Adresse der Anlage
Die vollständige Adresse der Anlage einschließlich Postleitzahl.

Name und Adresse des Installateurs
Der Name und die Adresse der Person oder Organisation, die die Installationsarbeit ausgeführt hat.

Anlage
Neu – Wenn die gesamte Anlage neu installiert wurde
Erweiterung – Wenn die bestehende Anlage um einen oder mehrere neue Stromkreise erweitert wurde
Änderung – Wenn ein oder mehrere bestehende Stromkreise geändert wurden (erweitert, Bauteile ausgetauscht usw.)
Bestehend – Überprüfung an einer bestehenden Anlage durchgeführt

Name des Prüfers
Name einer kompetenten Person, die für Inspektion und Prüfungen verantwortlich ist.

Beschreibung der Installationsarbeiten
Eine klare Beschreibung der ausgeführten Arbeit. Umfang der durch dieses Protokoll behandelten Anlage. Wichtiges Feld, da der Auftragnehmer die Verantwortung für diese Arbeit übernimmt.

Datum der Inspektion, Unterschrift
Unterschrift des Prüfers und Datum, an dem die Überprüfung ausgeführt wurde.

Angabe der verwendeten Geräte
Messgeräte und Überwachungseinrichtungen sowie Methoden müssen in Übereinstimmung mit relevanten Abschnitten von IEC 61557 ausgewählt werden. Typ, Modell und Seriennummer der Instrumente müssen notiert werden. Die Prüfeinrichtungen müssen regelmäßig kalibriert werden.

8.1.2 Beschreibung der Eigenschaften der ankommenden Versorgung

Supply characteristics and earthing arrangements			Tick boxes and enter details, as appropriate
Earthing arrangements Supply authority Consumer's earth electrode	Number and type of live conductors		Nature of supply parameters	Incoming supply protective device characteristics
System types TN-C TN-C-S TN-S TT IT	a.c 1-phase, 2-wire (LN) 1-phase, 3-wire (LLM) 2-phase, 3-wire (LLN) 3-phase, 3-wire (LLL) 3-phase, 4-wire (LLLN)	d.c. 2-pole 3-pole other other other	Nominal voltage, U/U_o (1).....V Nominal frequency, f (1).....Hz Prospective highest short-circuit current, I_{cc} (2)..... .....kA External earth fault loop impedance, Z_e (2).....Ω NOTES (1) By enquiry (2) By enquiry, or by measurement or by calculation	Type:..... Nominal current rating:.....A RCD sensitivity, where applicable .....mA
Alternative source of supply (to be detailed on attached schedules)				

Bild 98: *Vorschlag für ein Überprüfungsprotokoll nach IEC 60364-6 – Eigenschaften der Versorgung und Erdungsvorrichtungen*

Erdungsvorrichtungen / Versorgungsunternehmen / Erdelektrode des Verbrauchers

Netztyp

Hier sollte die Erdungsvorrichtung der Anlage eingetragen werden. Falls in einem Teil der Anlage eine andere Erdungsvorrichtung verwendet wird, muss dies notiert werden.

Alternative Versorgungsquelle

Wo es mehrere Versorgungsquellen gibt (z. B. öffentliches Netz und Generator), sollte dies notiert werden.

Anzahl und Typ der spannungsführenden Leiter

Anzahl der spannungsführenden Leiter (einschließlich N) und Spannungsart (AC, DC) werden hier eingetragen.

Netzparameter

Nennspannungen:

Hier werden die Spannungen U (Phase zu Phase) and U_0 (Phase zu Erde) eingetragen.

Nennfrequenz:

Hier wird die Nennfrequenz eingetragen (gewöhnlich 50 Hz oder 60 Hz).

Voraussichtlicher höchster Kurzschlussstrom I_K

Dies ist der größte Fehler- oder Kurzschlussstrom, der in der Anlage auftreten kann. Dies ist der höchste unter den voraussichtlichen Strömen Phase-Phase, Phase-Nullleiter, Phase-Erde. Die Messungen sollten an der Schalttafel an den Eingangspunkten der Anlage erfolgen.

Externe Erdfehlerschleifenimpedanz Z_E:
Z_E ist die Fehlerschleifenimpedanz der Verteileranlage. Sie sollte am Eingangspunkt der Anlage gemessen werden.
Der Zweck dieser Prüfung ist es, die Vollständigkeit der Haupterdung zu überprüfen. Daher muss der Eingangsschutzleiter von allen anderen Erdungsverbindungen der Anlage getrennt werden, um parallele Pfade zu vermeiden.

Eigenschaften der Schutzeinrichtung für das ankommende Netz
Typ, Nennstrombelastung
Typ und Nennwert der primären Überstromschutzeinrichtung (Sicherung) sollten hier eingetragen werden. Durch Sichtprüfung sollte überprüft werden, dass die Kennzeichnungen auf der Einrichtung den Projektunterlagen entsprechen.
RCD-Empfindlichkeit
Der Nennauslösestrom des RCD (falls installiert) sollte hier eingetragen werden.

8.1.3 Beschreibung der Erdungsvorrichtung des Verbrauchers (Elektrode, Verdrahtung)

Details of consumers earth electrode (where applicable)			
Type	Material		
	Cu	Fe	Other
Foundation earth electrode Ground earth electrode Rod Tape Other:			
Location:			
Resistance to earth:.....Ω			
NOTE In existing installations where the above information cannot be ascertained, this fact should be noted.			

Bild 99: *Vorschlag für ein Überprüfungsprotokoll nach IEC 60364-6 – Einzelheiten zur Verbraucher-Erdelektrode*

Dieses Feld muss nur bei der Überprüfung von TT- oder IT-Netzen ausgefüllt werden.

Typ
Tragen Sie eine Beschreibung der Haupterdelektrode ein.

Ort
Der Ort sollte beschrieben werden, sodass die Elektrode bei regelmäßigen Prüfungen gefunden werden kann.

Erdungswiderstand
Die hauptsächlichen Erdungswiderstände sollten hier eingetragen werden. Es ist wichtig, dass parallele Erdungspfade das Ergebnis nicht beeinflussen.

Earthing and main bonding conductors			
Earthing conductor:	material.....	csa[1] ..... mm²	connection verified
Main equipotential bonding conductors:	material.....	csa..... mm²	connection verified
To incoming water and/or gas service		To other elements:.....	
Supplementary equipotential bonding			
Bathrooms/showers:	material.....	csa..... mm²	connection verified
Swimming pools:	material.....	csa..... mm²	connection verified
Other: (please state)	material.....	csa..... mm²	connection verified
1) csa: conductor cross-section area.			

Bild 100: *Vorschlag für ein Überprüfungsprotokoll nach IEC 60364-6 – Haupt- und zusätzlicher Potentialausgleich*

Erdungs- und Hauptpotentialausgleichsleiter
Geben Sie hier die Leitereigenschaften (Material, Querschnitt) der Schutzerdungsverdrahtung an. Beschreiben Sie alle Haupt-Schutzerdverbindungen.
Bestätigen Sie die Überprüfung durch Sichtprüfung und Tests.

Zusätzliche Potentialausgleichsverbindungen
Geben Sie die Leitereigenschaften (Material, Querschnitt) der zusätzlichen Potentialausgleichsverbindungen an. Beschreiben Sie alle durchgeführten zusätzlichen Potentialausgleichsverbindungen.
Bestätigen Sie die Überprüfung durch Sichtprüfung und Tests.

8.1.4 Beschreibung der Hauptabtrenn-/-Schutzeinrichtungen

Isolation and protective devices at the origin of installation				
	Type	No. of poles	Ratings	
Main switch				V A
Fuse or circuit breaker			I_n I_{cn}, I_{cu}, I_{cs}	A kA
RCD			I_n $I_{\Delta n}$	A mA

Bild 101: *Vorschlag für ein Überprüfungsprotokoll nach IEC 60364-6 – Abtrennung*

Beschreiben Sie Bauteile, die am Eingang der Anlage installiert sind.

Typ
Hier sollte der Typ der Abtrenn-/Schutzeinrichtungen eingetragen werden. Durch Sichtprüfung sollte sichergestellt werden, dass die Kennzeichnungen auf der Einrichtung den Projektunterlagen entsprechen.

Anzahl der Pole
Hier sollte die Anzahl der Pole eingetragen werden. Überprüfen Sie, ob alle Phasen- und Nullleiter abgetrennt werden.
Nennwerte
Die Nennwerte von Spannung, Strom und Reststrom der Bauteile sollten hier eingetragen werden. Durch Sichtprüfung sollte überprüft werden, ob die Nennwerte den Projektunterlagen entsprechen.

8.1.5 Beschreibung der Sichtprüfung

Das vorgeschlagene Formular enthält eine Musterliste von Installationselementen, die einer Sichtprüfung unterzogen werden müssen. Jedes Element sollte besichtigt werden. Die Einhaltung der Produktnormen muss sichtbar sein (Kennzeichnungen, Beschriftungen, technische Dokumentation).
Die Ergebnisse der Inspektion müssen notiert werden. Bei Erstüberprüfungen müssen alle Elemente die Prüfung bestehen.

Form for inspection of electrical installations (see examples in Clause G.2)

G.1 Form for inspection of electrical installations

NOTE Particularly suitable for domestic installations.

A Protection against direct contact

	Item	Compliance (NOTE 1)	Comments
i	Insulation of live parts		
ii	Barriers		
iii	Enclosures		

B Equipment

	Equipment	Selection (NOTE 2)	Erection (NOTE 1)	Comments
i	Cables			
ii	Wiring accessories			
iii	Conduits			
iv	Trunking			
v	Distribution equipment			
vi	Luminaires			
vii	Heating			
viii	Protective devices RCD, CBs, etc.			
ix	Other			

C Identification

	Item	Presence	Correct location	Correct wording	Comments
i	Labelling of protective devices, switches and terminals				
ii	Warning notices				
iii	Danger notices				
iv	Identification of conductors				
v	Isolation devices				
vi	Switching devices				
vii	Diagrams and schedules				

NOTE 1 Enter C if it complies with (national) installation standard, NC if it does not comply.

NOTE 2 Visible indication of compliance with the appropriate product standard. In case of doubt, a declaration of conformity with the standard needs to be obtained from the manufacturer (e.g. from the catalogues).

Detailliertere Musterliste verschiedener Elemente. Man erkennt, dass die Sichtprüfung gründlich durchgeführt werden muss und dass viele Einzelheiten zu überprüfen sind.

G.2 Examples of items to be checked when carrying out an installation inspection

General

Good workmanship and proper materials have been used

Circuits to be separate (no interconnection of neutrals between circuits)

Circuits to be identified (neutral and protective conductors in same sequence as line conductors)

Disconnection times likely to be met by installed protective devices

Adequate number of circuits

Adequate number of socket-outlets provided

A Protection against direct contact

Insulation of live parts

Barriers (check for adequacy and security)

Enclosures have suitable degree of protection appropriate to external influences

Enclosures have cable entries correctly sealed

Enclosures have unused entries blanked off where necessary

……..

B Equipment

1 Cables and cords

Non-flexible cables and cords

Correct type

Correct current rating

Non-sheathed cables protected by enclosure in conduit, duct or trunking

……..

2 Wiring accessories (luminaires – see below)

General (applicable to each type of accessory)

Visible indication of compliance with the appropriate product standard, where required in the relevant product standard

Box or other enclosure securely fixed

.....

3 Conduits

General

Visible indication of compliance with the appropriate product standard, where required in the relevant product standard

.....

4 Trunking

General

Visible indication of compliance with the appropriate product standard, where required in the relevant product standard

Securely fixed and adequately protected against mechanical damage

.....

5 Distribution equipment

Visible indication of compliance with the appropriate product standard, where required in the relevant product standard

Suitable for the purpose intended

Securely fixed and suitably labelled

.....

6 Luminaires

Lighting points

Correctly terminated in a suitable accessory or fitting

Not more than one flex unless designed for multiple pendants

Flexible support devices used

.....

7 Heating

Visible indication of compliance with the appropriate product standard

Class 2 insulation or protective conductor connected

.....

8 Protective devices

Visible indication of compliance with the appropriate product standard, where required in the relevant product standard

RCDs provided where required

Discrimination between RCDs considered

.....

9 Other

C Identification

Labelling

Warning notices

Danger notices

Identification of conductors

8.1.6 Beschreibung von Einzelheiten zu den Stromkreisen sowie Prüfergebnisse

Reporting for verification

Table H.1 – Model form for cicuit details and test results schedule

INFORMATION REGARDING DISTRIBUTION BOARD (1)																								
Description:			Ref.:							Manufacturer														
Rated voltage, U_n: V			Nominal current, I_n: A			Frèquence: Hz				Protection IP degree:							Short-circuit withstand capability of distribution board, I_{cc} kA							
MAIN SUPPLY TO DISTRIBUTION BOARD (6)																								
Protective device:				Type:		Rating, I_n: A				Short circuit capacity rating kA			RCD: mA		I_{cp}: kA (2)		Z_s: W		CSA supply condition Section: L= mm²; PE= mm²				
CIRCUIT DETAILS										TEST RESULTS														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Circuit n°.	Description Room served	Number of points	Fonc-tion	Connec-tion load	Cables/Cond.		Circuit protection			Circuit characteristics			Insulation resistance				RCD				Touch voltage	Polar-ity test	PE conti-nuity	Remarks+ national requirements
					Type	Section-L/PE	I_n (A)		Type	Z_s	I_p (A)		MΩ				I_n	I_{dn}	T_d					
			(5)	kW (9)		mm²	Fuse	Dis-jonct.		Ω	L-N	L-PE	N-PE	L1-PE	L2-PE	L3-PE	A	mA	(3) (4)	(7)	(8)	(3)		

NOTES

(1) By enquiry (manufacturer, name plate or technical doc.)

(2) By measurement or calculation

(3) Enter C if complies or NC if does not comply

(4) Complete test where appropriate shall be performed including touch voltage and tripping time at rated current

(5) Enter appropriate function code (see opposite)

(6) Only to be completed if the distribution board is not connected directly to the origin of the installation

(7)

(8) Only required where supplementary equipotential bonding has been installed in accordance with 413.1.3.6

(9) Record connected load where readily identifiable

Abbreviations

L	Line
T_d	Test trip time
Z_s	Fault loop impedance
CSA	Cross-sectional area
I_{cp}	Prospective short-circuit current at main busbars of distribution board r.m.s. value
I_p	Measured short-circuit current at end of consumer supply line. For socket outlets circuits, measurement shall be made at each S/O and to record only the worst case
I_{cw}	Short-circuit withstand of equipment

Function code (for column 4)

C	Cooking	W/H	Water heating
S/O	Socket outlet	S/H	Storage heaters
UFH	Under floor heating	Li	Lighting
H	Heating	HP	Heat pump

Informationen zur Verteilertafel
Hier sollten allgemeine technische Informationen über die Verteilertafel (Beschreibung, Modell, Teile-Nr., Hersteller, Nennspannung, Nennstrom, Frequenz, IP-Schutz, Kurzschlussstrombelastbarkeit) eingetragen werden.
Die Daten sind in den Projektunterlagen oder in den Herstellerdaten zu finden.

Hauptversorgung der Verteilertafel
Dieses Feld wird nur ausgefüllt, wenn die Verteilertafel eine Unterverteilertafel ist. Das bedeutet, dass sie nicht mit dem Eingang der Anlage verbunden ist.
Hier müssen die Eigenschaften der ankommenden Versorgung eingetragen werden, ähnlich wie bei der Hauptverteilertafel.

Einzelheiten zum Stromkreis
Nummer
Laufende Nummer des Stromkreises.
Beschreibung
Bezeichnung des Stromkreises.
Anzahl der Punkte
Gibt die Größe des Stromkreises an. Punkte sind Steckdosen, Schalter, feste Anschlusspunkte usw.
Funktionscode
Gibt die primäre Funktion von Einrichtungen an, die an den Stromkreis angeschlossen sind.
Kabel / Leiter
Gibt Typ und Querschnitt von Versorgungs- und Schutzleitern an.
Schutz des Stromkreises
Hier sollte die Sicherung zum Schutz des Stromkreises beschrieben werden (Nennstrom und Typ).

Prüfergebnisse
Eigenschaften des Stromkreises
Die höchste gemessene Leitungs- oder Schleifenimpedanz Z_s (welche höher ist) im Stromkreis muss hier eingetragen werden.
Hier wird der niedrigste gemessene voraussichtliche Kurzschlussstrom I_p (LN) im Stromkreis eingetragen.
Hier wird der niedrigste gemessene voraussichtliche Fehlerstrom I_p (LPE) im Stromkreis eingetragen.
Isolationswiderstand
Hier wird der niedrigste gemessene Isolationswiderstand zwischen Nullleiter und Schutzleiter R_{iso} (NPE) im Stromkreis eingetragen.
Hier wird der niedrigste gemessene Isolationswiderstand zwischen einer beliebigen Phase und Schutzleiter R_{iso} (L1PE, L2PE, L3PE) im Stromkreis eingetragen.
RCD
Hier werden die Nennstrombelastung I_n und der Nenndifferenzstrom $I_{\Delta N}$ des RCD (der den Stromkreis schützt) eingetragen.
In das Feld T_d wird die höchste gemessene Auslösezeit bei $I_{\Delta N}$ und die höchste gemessene Berührungsspannung im Stromkreis eingetragen.
Berührungsspannung
Diese Prüfung sollte durchgeführt werden, wo zusätzliche Potentialausgleichsverbindungen ausgeführt wurden. Hier wird die höchste gemessene Berührungsspannung oder ein Konformitätskennzeichen eingetragen.

Polarität
Hier wird die Einhaltung der korrekten Polarität der Leiter des Stromkreises (L, N, PE) an allen gemessenen Punkten eingetragen.
Schutzleiterdurchgängigkeit
Hier wird der höchste gemessene Schutzleiterwiderstand oder ein Konformitätskennzeichen eingetragen.

9 METREL-Installationstester

Comparison table		EurotestXA	EurotestAT	EurotestXE	EurotestEASI	Eurotest 61557	Instalcheck	Insulation/Continuity	Z Line Loop/RCD	Earth
Ordering No.:		MI 3105	MI 3101	MI 3102	MI 3100	MI 2086	MI 2150	MI 3121	MI 3122	MI 3123
Main features										
Voltage Monitor/TRMS		•/•	•/•	•/–	•/–	•/•	•/–	•/•	•/•	
Phase SEQUENCE EN 61557-7		•	•	•	•	•	•		•	
Continuity EN 61557-4		•	•	•	•	•		•		
Automatic polarity exchange, 200 mA		•	•	•	•	•		•		
Low current continuous 7 mA DC		•	•	•	•	•	•	•		
Resistance test through shuko N-PE		•								
Insulatio N - IEC/ EN 61557-2										
50 / 100 /250 / 500 /1000 V	50 ... 1000 V	50 ... 1000 V		100 ... 1000 V	100 ... 1000 V	50 ... 1000 V	500 V	50 ... 1000 V		
Automatic test between L-N-PE pairs	•	•								
ISFL	•			•	•	•	•		•	
LINE/LOOP EN 61557-3										
Impedance L-L, L-N and L-PE, Ipsc, Ipfc	•	•		•	•	•	•		•	
R and Xl calculations	•	•		•	•	•				
High accuracy RCD TRIP, LOCK loop impedance	•	•		•	•	•	•		•	
IT system line/loop	•	•		•	•	•				
IT system first fault loop	•	•		•	•	•				
Built-in Fuse base characteristics	•	•		•	•	•			•	
PASS/FAIL evaluation of result	•	•		•	•	•	•		•	
RCD EN 61557-6										
RCD type	A, AC, B	A, AC, B		A, AC	A, AC	A, AC	AC		A, AC	
RCD AUTOTEST	•	•		•	•	•			•	
Trip-out time t, Uc (UsN)	•	•		•	•	•	•		•	
Trip-out current ID	•	•		•	•	•	•		•	
EARTH EN 61557-5	•	•		•	•	•	•			•
Two wire earth resistance	•	•		•	•	•	•			•
Three wire earth resistance	•	•		•	•	•	•			•
Two clamps earth loop resistance						•				•
One clamp earth loop resistance						•				•
Specific Earth resistance		Optionaly	Optionaly			•				•
Current Clamp TRMS						•				•
Clamp leakage current	•			•		•				•
AUTO SEQUENCE ®										
Automatic test of insulation	ALL L-N-PE	ALL L-N-PE					L-PE, N-PE			
Automatic test of RCD	•	•		•	•	•				
AUTO SEQUENCE ® on SwitchBoard	•	•								
AUTO SEQUENCE ® on Circuit	•	•					•			
Automatic evaluation of complete safety	•	•								
Freezing results for verification reports	•	•								
Smart commands, comments, icons, instructions, ...	•	•								
Sensor										
Lite	Optionaly	Optionaly		Optionaly		Optionaly				
Other	•	•		•	•	•	•	•	•	•
Power						•				
Energy						•				
Harmonics						•				
Line Tracer	Optionaly	Optionaly				Optionaly				
Touch electrode	•	•		•	•	•	•	•	•	
Evaluation PASS/FAIL results	•	•		•	•	•	•			•
Frequency	15 - 500 Hz	15 - 500 Hz		45 - 65 Hz	45 - 65 Hz	45 - 65 Hz		15 - 500 Hz	15 - 500 Hz	
Voltage systems support	440 / 230 / 110 V	440 / 230 / 110 V		440 / 230 / 110 V	440 / 230 / 110 V	440 / 230 / 110 V	440 / 230 / 110 V		440 / 230 / 110 V	
Reduced low voltage system support	55 / 65 V	55 / 65 V		55 / 65 V	55 / 65 V	55 / 65 V				
Earthing system support	TN / TT / IT	TN / TT / IT		TN / TT / IT	TN / TT / IT	TN / TT / IT	TN / TT		TN / TT	
On line Warnings	•	•		•	•	•	•		•	•
HELP menus	•	•		•	•	•	•		•	•
Communication ports	•	•		•	•	•	•		•	•
RS 232	•	•		•	•	•	•		•	•
USB	•	•		•	•	•	•		•	•
Accessories	•	•		•	•	•	•		•	•
Plug commander	•	•				•		Optionaly	Optionaly	
Tip commander 2 wire	Optionaly	Optionaly		•	•	Optionaly			Optionaly	
PC Software	Professional PRO	Professional LITE	Standard			Professional PRO		Professional PRO	Professional PRO	Professional PRO
Quality Helpful screen	•	•								

10 Anhang A – RCDs (Betrieb, Auswahl, Installation)

Dieser Anhang stellt zusätzliche Informationen über Fehlerstromschutzbauteile bereit.

10.1 RCD-Auswahltabelle nach Empfindlichkeit

Tabelle 1 ist ein Auswahltabelle für RCDs. Sie zeigt die Empfindlichkeit verschiedener RCD-Typen bei typischen Fehlerstromkurvenformen.

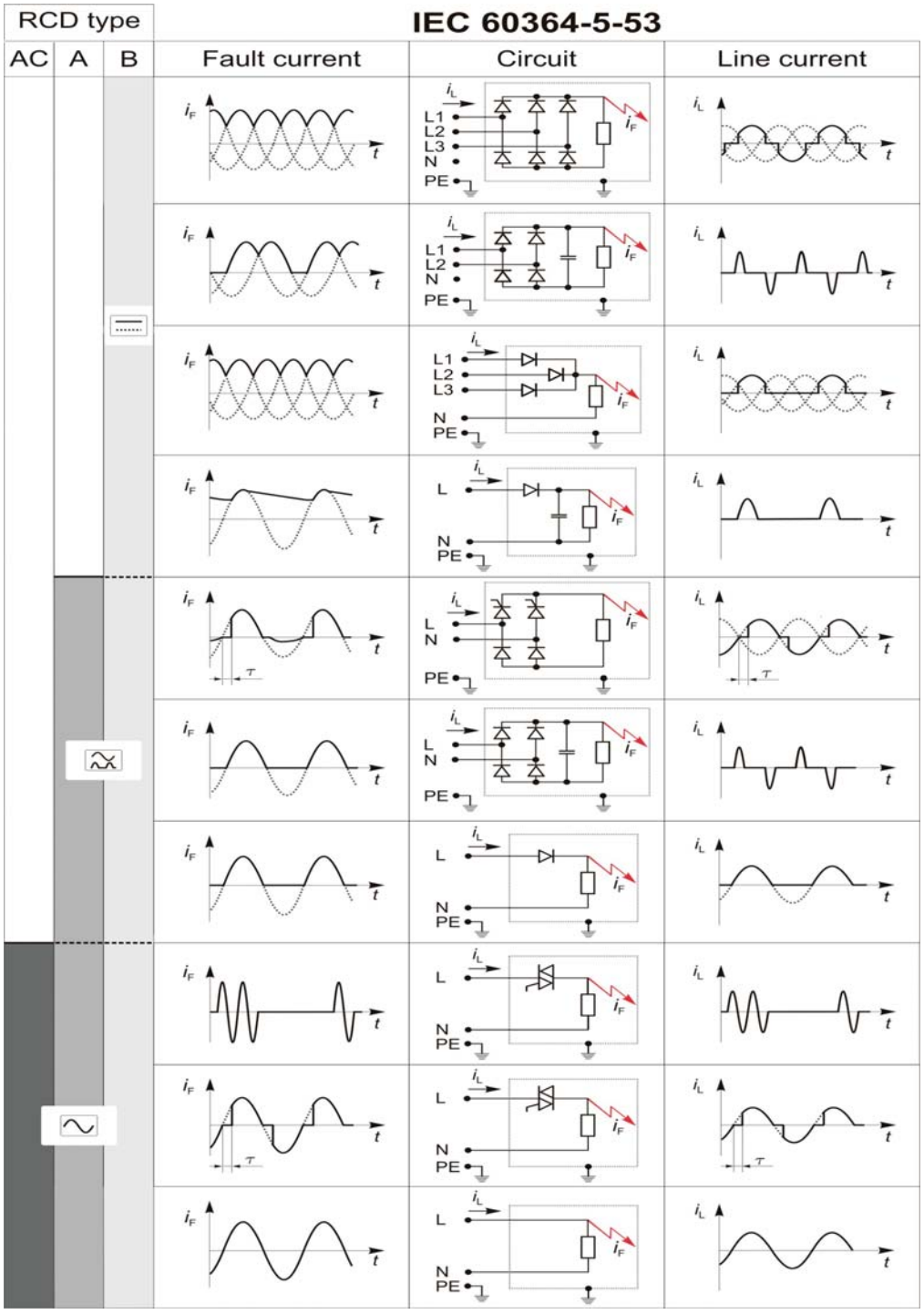


Tabelle 31: *Empfindlichkeit verschiedener RCD-Typen*

10.2 Abgrenzungsprinzip für RCDs

Wo die Anlage durch mehr als einen RCD geschützt wird, kommt das Abgrenzungsprinzip zur Anwendung. Der Vorteil der Verwendung mehrerer RCDs besteht darin, dass beim Auftreten eines Fehlers nur der dem Fehler nächste RCD auslöst und andere Anlagenteile nicht betroffen sind.
In diesem Fall ist der Haupt-RCD gewöhnlich ein RCD vom verzögerten (selektiven) Typ (100 mA oder 300 mA). Wenn dem Haupt-RCD nachgeschaltete RCDs eine Empfindlichkeit von 30 mA haben, sorgt das für die korrekte Abgrenzung.
Bild 102 zeigt ein Beispiel der korrekten RCD-Abgrenzung in einer Anlage mit mehreren RCDs.

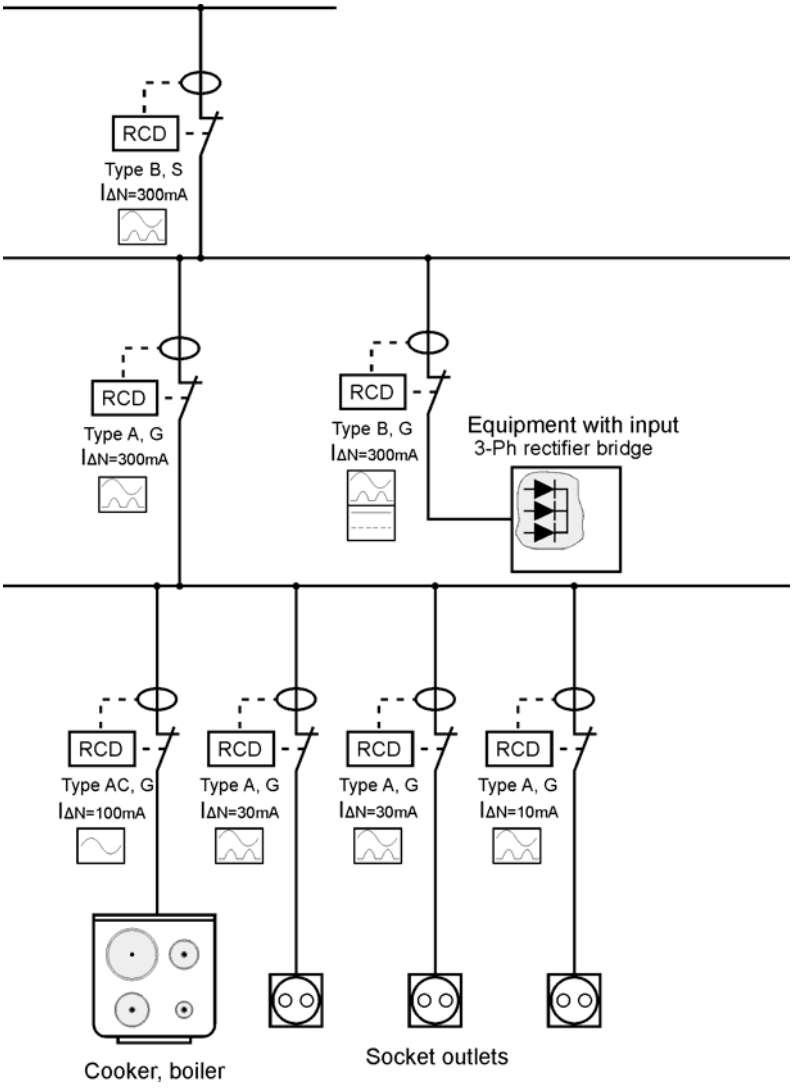


***Bild 102**: Beispiel für mehrere RCDs in einer Anlage*

10.3 RCD-Produkttypen

Mit Reststrombausteinen sind viele verschiedene Bezeichnungen verknüpft.

Haupttypen			
Kurz	**Typ**	**Beschreibung**	**Verwendung**
RCD	Residual Current Device, *Fehlerstromschutzschalter*	Dies ist die generische Bezeichnung für die gesamte Palette an RCDs.	Allgemein
RCBO	Fehlerstrom-betriebener Schutzschalter mit eingebautem Überstromschutz.	Dies ist grundsätzlich ein Überstromschutzschalter (wie ein MCB) mit zusätzlicher RCD-Funktion. Er hat zwei Funktionen: Er soll Schutz gegen Erdfehlerströme sowie gegen Überlastströme bieten.	Verbraucher-einheiten, Verteilertafeln
RCCB	Fehlerstrom-betriebener Schutzschalter ohne eingebauten Überstromschutz.	Dies ist grundsätzlich ein mechanischer Schalter mit zusätzlicher RCD-Funktion. Seine einzige Funktion ist der Schutz gegen Erdfehlerströme.	Verbraucher-einheiten, Verteilertafeln

Weniger bekannte Typen			
Kurz	**Typ**	**Beschreibung**	**Verwendung**
CBR	Trennschalter mit eingebautem Fehlerstromschutz.	Überstromschutzschalter mit eingebautem Fehlerstromschutz.	Verteilertafeln in großen Anlagen.
SRCD	Steckdose mit eingebautem RCD.	Eine Steckdose oder ein abgesicherter Anschluss mit eingebautem RCD.	Oft installiert, um zusätzlichen Schutz gegen direkte Berührung bei im Freien betriebenen tragbaren Geräten zu bieten.
PRCD	Tragbarer Fehlerstromschalter.	Ein PRCD ist ein Gerät, das RCD-Schutz für beliebige, über Stecker und Steckdose angeschlossene Geräte bietet. Enthält oft einen Überstromschutz.	Wird an eine vorhandene Steckdose angeschlossen. PRCDs sind nicht Teil der festen Anlage.
SRCBO	Steckdose mit eingebautem RCBO.	Eine Steckdose oder ein abgesicherter Anschluss mit eingebautem RCBO.	Wird oft installiert, um zusätzlichen Schutz gegen direkte Berührung bei im Freien betriebenen tragbaren Geräten zu bieten.

Tabelle 32: *RCD-Typen*

11 Anhang B – Einadrige Kupferdrähte

Dieser Anhang enthält den Widerstand und den typische Maximalstrom für einadrige Kupferdrähte, Thermoplast-isoliert (70 °C, PVC), unarmiert, mit oder ohne Mantel.

Querschnitt	Maximalstrom		Leiterwiderstand, bezogen auf eine Länge von				
	2 Leiter einphasig	3 oder 4 Leiter dreiphasig	1 m	2 m	5 m	10 m	100 m
[mm^2]	[A]	[A]	[mΩ]	[mΩ]	[mΩ]	[mΩ]	[mΩ]
0,75	10,1	9	22,9	45,9	114,7	229,3	2293,3
1	13,5	12	17,2	34,4	86	172	1720
1,5	17,5	15,5	11,5	22,9	57,3	114,7	1146,7
2,5	24	21	6,9	13,8	34,4	68,8	688
4	32	28	4,3	8,6	21,5	43	430
6	41	36	2,9	5,7	14,3	28,7	286,7
10	57	50	1,7	3,4	8,6	17,2	172
16	76	68	1,1	2,2	5,4	10,8	107,5
25	101	89	0,7	1,4	3,4	6,9	68,8
35	125	110	0,5	1	2,5	4,9	49,1
50	151	134	0,3	0,7	1,7	3,4	34,4
70	192	171	0,2	0,5	1,2	2,5	24,6
95	232	207	0,2	0,4	0,9	1,8	18,1
120	269	239	0,1	0,3	0,7	1,4	14,3
150	300	262	0,1	0,2	0,6	1,1	11,5
185	341	296	0,1	0,2	0,5	0,9	9,3
240	400	346	0,1	0,1	0,4	0,7	7,2
300	458	394	0,1	0,1	0,3	0,6	5,7
400	546	467	<0,1	0,1	0,2	0,4	4,3
500	626	533	<0,1	0,1	0,2	0,3	3,4
630	720	611	<0,1	0,1	0,1	0,3	2,7

Tabelle 33: *Maximalströme, bezogen auf Querschnitt und Anzahl stromführender Leiter, sowie typische Widerstände bei verschiedenen Längen bei 25 °C*

Die Maximalströme sind zurückhaltend angegeben. Sie berücksichtigen die maximale Betriebstemperatur des Isoliermaterials und den Skineffekt.

Der positive Temperaturkoeffizient von Kupfer, $\alpha = 0{,}004041/°C$, bedeutet, dass der (spezifische) Widerstand von Draht mit der Temperatur steigt. Die Abhängigkeit des

Widerstands von der Temperatur T beträgt: $R = R_{ref}(1+\alpha(T-T_{ref}))$ mit R_{ref} als Referenzwiderstand bei der Temperatur T_{ref}.
Tabelle 34 zeigt Widerstände von 100 m Draht typischer Querschnitte bei verschiedenen Temperaturen.

Temperatur	Spezifischer Widerstand	Widerstand von 100 m Kupferleiter verschiedener Querschnitte					
		1 mm²	1,5 mm²	2,5 mm²	4 mm²	6 mm²	10 mm²
[°C]	Ωm	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω
0	0,0155	1,55	1,03	0,62	0,39	0,26	0,15
5	0,0158	1,58	1,05	0,63	0,4	0,26	0,16
10	0,0162	1,62	1,08	0,65	0,4	0,27	0,16
15	0,0165	1,65	1,1	0,66	0,41	0,27	0,16
20	0,0168	1,68	1,12	0,67	0,42	0,28	0,17
25	0,0172	1,72	1,15	0,69	0,43	0,29	0,17
30	0,0175	1,75	1,17	0,7	0,44	0,29	0,18
35	0,0179	1,79	1,19	0,71	0,45	0,3	0,18
40	0,0182	1,82	1,21	0,73	0,46	0,3	0,18
45	0,0185	1,85	1,24	0,74	0,46	0,31	0,19
50	0,0180	1,89	1,26	0,76	0,47	0,31	0,19
55	0,0192	1,92	1,28	0,77	0,48	0,32	0,19
60	0,0196	1,96	1,3	0,78	0,49	0,33	0,2
65	0,0199	1,99	1,33	0,8	0,5	0,33	0,2
70	0,0202	2,02	1,35	0,81	0,51	0,34	0,2
75	0,0206	2,06	1,37	0,82	0,51	0,34	0,21
80	0,0209	2,09	1,39	0,84	0,52	0,35	0,21
85	0,0213	2,13	1,42	0,85	0,53	0,35	0,21
90	0,0216	2,16	1,44	0,86	0,54	0,36	0,22
95	0,0219	2,19	1,46	0,88	0,55	0,37	0,22
100	0,0223	2,23	1,49	0,89	0,56	0,37	0,22

Tabelle 34: *Spezifischer Widerstand von Kupfer sowie Widerstände von 100 m Leiter über der Temperatur*

Der Anstieg des Widerstands mit der Temperatur ist wichtig für die Festlegung von voraussichtlichen Kurzschlussströmen und Berührungsspannungen bei Nennbetriebsbedingungen. Messungen werden gewöhnlich bei Raumtemperatur (20 °C) durchgeführt, aber die Arbeitstemperatur für die Nennbelastung ist höher (z. B. 70 °C). Das bedeutet, dass der Widerstand der Verdrahtung um den Faktor $\frac{R_{70°C}}{R_{20°C}} = 1{,}2$ höher ist. Bei der Behandlung von Kurzschlussströmen müssen 80 % des bei 20 °C gemessenen Wertes berücksichtigt werden.

12 Anhang C – Abmessungen von Leitern

Dieser Anhang stellt einige grundlegende Informationen über die Größe von Leitern in Elektroanlagen im Allgemeinen und in Erdungssystemen bereit. Die Bezugsnormen sind IEC 60364-5-52 für Verdrahtungssysteme im Allgemeinen und IEC 60364-5-54 für Erdungsvorrichtungen, Schutzleiter und Leiter von Schutzpotentialausgleichssystemen.

Minimale Leiterquerschnitte in festen Installationen

Leitertyp	Zweck des Stromkreises	Leiter	
		Material	Querschnittsfläche [mm^2]
Kabel und isolierte Leiter	Leistungs- und Beleuchtungsstromkreise	Kupfer Aluminium	1,5 2,5
	Signalisierungs- und Steuerkreise	Kupfer	0,5
Blanke Leiter	Leistungskreise	Kupfer Aluminium	10 16
	Signalisierungs- und Steuerkreise	Kupfer	4

Tabelle 35: *Minimale Leiterquerschnittsflächen*

Die Querschnittsfläche des Nullleiters muss wie folgt ausgelegt sein:

Art des Stromkreises	Querschnittsfläche des Nullleiters
Einphasig, zweiadrig	Wie beim Phasenleiter
Mehrphasig, einphasig dreiadrig $S_{Cu} \leq 16$ mm^2, $S_{Al} \leq 25$ mm^2	
Mehrphasig $S_{Cu} \leq 16$ mm^2, $S_{Al} \leq 25$ mm^2	- Reduziert gemäß dem erwarteten maximalen Nullleiterstrom einschließlich der Oberwellen und - geschützt gemäß 431.2 von IEC 60364-4-43 und - mindestens 16 mm^2 (Cu) / 25 mm^2 (Al)

Tabelle 36: *Querschnittsflächen von Nullleitern*

Minimale Querschnittsflächen von Schutzleitern

Der Minimalwert ist festgelegt als:
- Ausgewählt nach IEC 60949 oder
- für eine Trennzeit von weniger als 5 s:

$$S = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k} \qquad \textit{Gl. 45}$$

Wobei:
S ..... Querschnittsfläche [mm^2]
I ..... Voraussichtlicher Fehlerstrom, der durch die Schutzeinrichtung fließen kann [A]
t ..... Schaltzeit der Schutzeinrichtung für die automatische Trennung [s]

k..... Ein Wert, der Material, Isolation und Temperatur des Schutzleiters enthält, siehe Tabelle 37.

Beispiele für PVC-isolierte Schutzleiter bei 70 °C

Schutzleitertyp	**Leitermaterial**		
	Kupfer	Aluminium	Stahl
Isoliert, nicht in Kabeln geführt und nicht mit anderen Kabeln zusammengefasst	143	95	52
Blank, in Kontakt mit Kabelabdeckung, nicht mit anderen Kabeln zusammengefasst	159	105	58
Ein im Kabel geführter Kern oder mit anderen Kabeln oder isolierten Leitern zusammengefasst	115	76	42

Tabelle 37: *k-Faktor zur Berechnung der minimalen Querschnittsflächen von Schutzleitern*

Minimale Querschnittsfläche von Schutzleitern in Bezug zum Phasenleiter:

Querschnittsfläche des Phasenleiters mm^2]	Minimale Querschnittsfläche des Schutzleiters [mm^2]	
	Dieselben Materialien wie bei den Phasenleitern	Anderes Material als bei den Phasenleitern
S≤16	S	$\frac{k1}{k}S$
16<S≤35	16	$16\frac{k1}{k}$
S>35	$\frac{S}{2}$	$\frac{k1}{k}\frac{S}{2}$

Tabelle 38: *Minimale Querschnittsfläche von Schutzleitern in Bezug zu den Phasenleitern*

Wobei:

k..... Ein Wert, der Material, Isolation und Temperatur des Schutzleiters enthält und oben definiert ist, sowie

k1..... Vergleichbar mit k, jedoch für den Phasenleiter.

Beispiel für einen PVC-isolierten Phasenleiter:

Leitermaterial	**k1**
Kupfer	115
Aluminium	76

Tabelle 39: *Faktor k1 für Tabelle 38*

Zusätzliche Anforderungen für die minimale Querschnittsfläche [mm²] von Schutzleitern

Schutzleitertyp	Leitermaterial				
	Kupfer		Aluminium		Stahl
	Geschützt	Ungeschützt	Geschützt	Ungeschützt	-
Ist nicht Teil eines Kabels oder befindet sich nicht in gemeinsamer Umhüllung mit dem Phasenleiter	2,5	4	16	16	-
Hauptpotential-ausgleichsverbindung und verbunden mit dem Haupterdungsanschluss	6		16		50
Geschützt: Schutz gegen mechanische Beschädigung ist vorhanden. Ungeschützt: Es ist kein Schutz gegen mechanische Beschädigung vorhanden.					

Tabelle 40: *Minimale Querschnittsfläche von Schutzleitern*

Minimale Querschnittsflächen [mm²] von erdverlegten Erdungsleitern

Erdungsleiter	Mechanisch geschützt		Mechanisch ungeschützt	
Korrosionsgeschützt	Kupfer	Stahl	Kupfer	Stahl
	2,5	10	16	16
Nicht korrosionsgeschützt	Kupfer		Stahl	
	25		50	

Tabelle 41: *Minimale Querschnittsflächen von erdverlegten Erdungsleitern*

PEN-Leiter

Sie dürfen nur in festen Anlagen benutzt werden. Die minimalen Leiterquerschnittsflächen betragen:

Leitermaterial	S[mm²]
Kupfer	10
Aluminium	16

Tabelle 42: *Minimale Leiterquerschnittsflächen von PEN-Leitern*

- Es ist nicht erlaubt, den Nullleiter mit einem anderen geerdeten Teil der Anlage zu verbinden (z. B. Schutzleiter vom PEN-Leiter).
- Es ist erlaubt, mehr als einen Nullleiter und mehr als einen Schutzleiter aus dem PEN zu bilden.
- Die Reduktion der Querschnittsfläche kann angewandt werden, wie beim Nullleiter festgelegt.

13 ANHANG D: Sonstige elektrische Messungen

In diesem Anhang werden einige spezielle und weniger häufig benutzte Installationsmessungen beschrieben.
Weitere Informationen finden Sie im METREL-Handbuch *Electrical installations in theory and practice (Elektroinstallationen in Theorie und Praxis).*

13.1 Isolationswiderstandsmessungen von nicht oder schwach leitenden Räumen

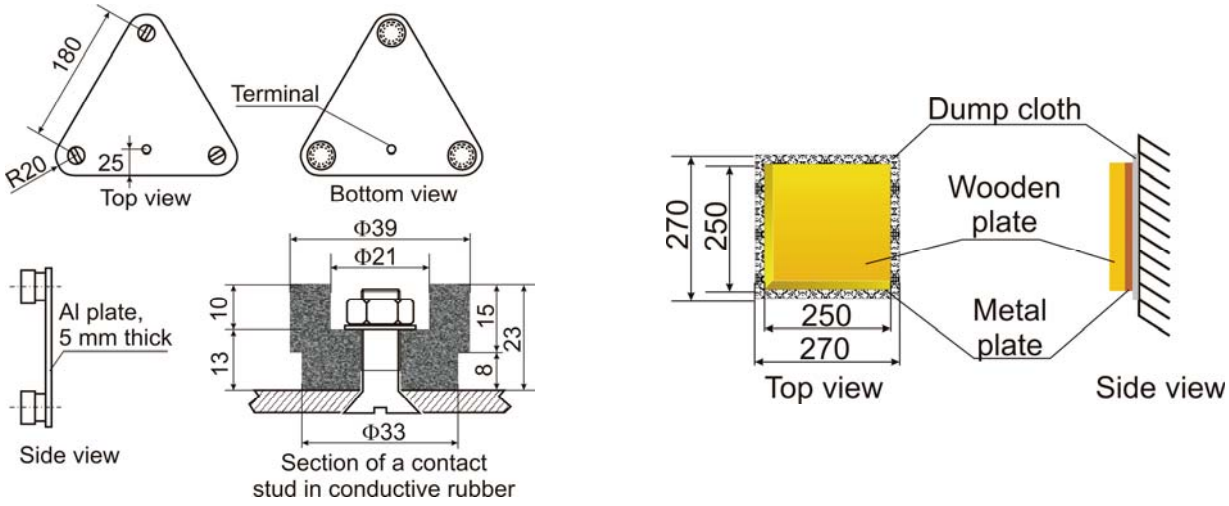
13.1.1 Widerstandsmessung von nichtleitenden Wänden und Fußböden

Es gibt bestimmte Situationen, in denen es wünschenswert ist, dass ein Raum vollständig vom Schutzerdleiter isoliert ist (z. B. zum Durchführen von speziellen Prüfungen in einem Laboratorium usw.). Solche Räume werden als elektrisch sicherer Bereich angesehen, und die Wände und der Fußboden müssen aus nichtleitendem Material bestehen. Die Anordnung aller elektrischen Geräte in diesen Räumen muss so erfolgen, dass

- es nicht möglich ist, im Falle eines grundlegenden Isolationsfehlers zwei spannungsführende Leiter mit unterschiedlichen Potentialen gleichzeitig zu berühren,
- es bei keiner Kombination von aktiven und passiven berührbaren leitenden Teilen möglich ist, diese gleichzeitig zu berühren.

In nichtleitenden Räumen ist ein Schutzleiter PE, der die gefährliche Fehlerspannung auf Erdpotential ableiten könnte, nicht erlaubt. Nichtleitende Wände und Fußböden schützen den Bediener im Falle eines grundlegenden Isolationsfehlers.

Der Widerstand nichtleitender Wände und Fußböden sollte mit dem nachstehend beschriebenen Verfahren gemessen werden. Die nachstehend beschriebenen Spezialmesselektroden sollen verwendet werden.



Empfohlen *Optional*

Bild 103: Messelektrode gemäß IEC 60364-6

Die Messung ist zwischen der Messelektrode und dem Schutzerdungsleiter PE auszuführen, der nur außerhalb des geprüften nichtleitenden Raums zugänglich ist.
Um einen besseren elektrischen Kontakt herzustellen, muss ein nasser Flicken (270 mm × 270 mm) zwischen die Messelektrode und die geprüfte Oberfläche gelegt werden. Die Elektrode muss während der Messung mit einer Kraft von 750 N (Fußbodenmessung) oder 250 N (Wandmessung) belastet werden.

Der Wert der Prüfspannung muss betragen:

- 500 V wo die Netznennspannung, bezogen auf Erde, niedriger als 500 V ist
- 1000 V wo die Netznennspannung, bezogen auf Erde, höher als 500 V ist

Der Wert des gemessenen und korrigierten Prüfergebnisses muss höher sein als:

- 50 kΩ wo die Netznennspannung, bezogen auf Erde, niedriger als 500 V ist
- 100 kΩ wo die Netznennspannung, bezogen auf Erde, höher als 500 V ist.

Hinweise

- Es ist zu empfehlen, die Messung mit beiden Polaritäten der Prüfspannung auszuführen (Umdrehen der Prüfanschlüsse) und den Mittelwert beider Ergebnisse zu verwenden.
- Warten Sie vor dem Ablesen, bis sich das Prüfergebnis stabilisiert hat.

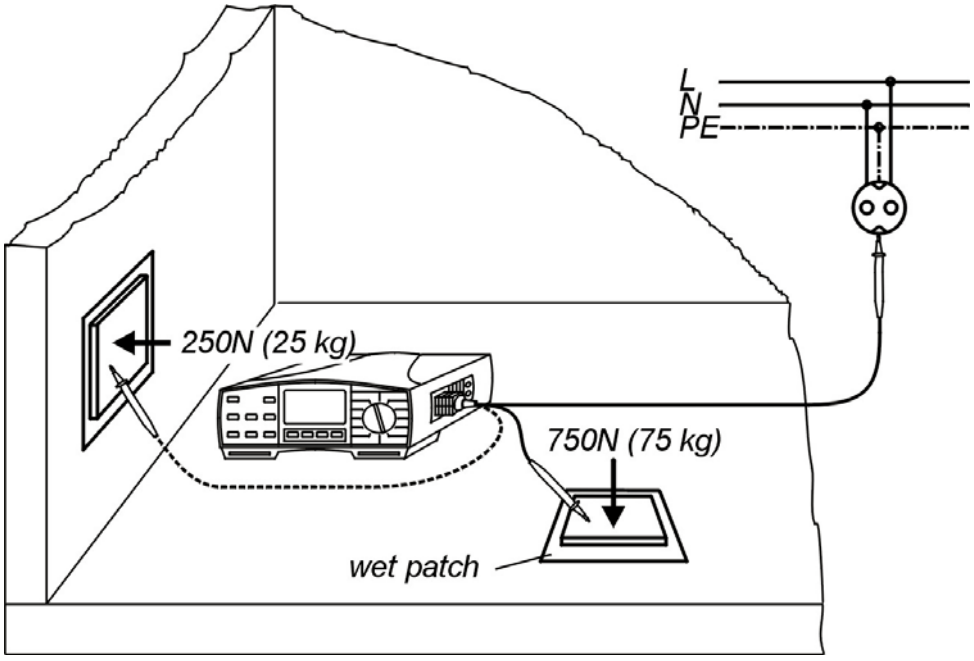


Bild 104: *Widerstandsmessung von Wänden und Fußboden*

13.1.2 Widerstandsmessung von schwach leitenden Fußböden

In einigen Fällen, wie beispielsweise explosionssicheren Bereichen, Lagern mit entzündlichem Material, Lackierräumen, Produktionsfabriken für empfindliche elektronische Geräte, brandgefährdeten Bereichen usw. ist eine Fußbodenoberfläche mit einer bestimmten Leitfähigkeit erforderlich. In diesen Fällen verhindert der Fußboden erfolgreich den Aufbau statischer Elektrizität und leitet eventuelle Potentiale niedriger Energie nach Erde ab.

Um den geeigneten Widerstand des Fußbodens zu realisieren, müssen schwach leitende Materialien verwendet werden. Der Widerstand muss mit einem Isolationswiderstandstester mit einer Prüfspannung zwischen 100 und 500 V geprüft werden.
Es muss eine durch die Vorschrift definierte spezielle Prüfelektrode verwendet werden; siehe nachstehendes Bild.

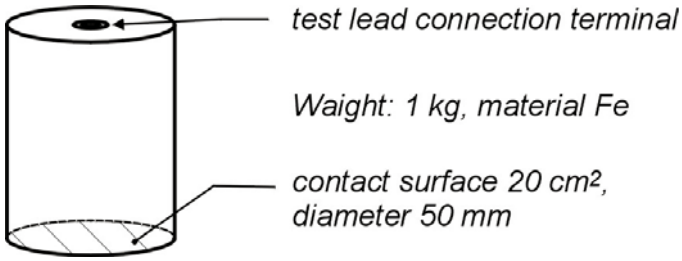


Bild 105: *Prüfelektrode*

Das Messverfahren ist im nachstehenden Bild dargestellt. Die Messung sollte mehrmals an verschiedenen Stellen wiederholt und es sollte ein Mittelwert aller Ergebnisse gebildet werden.

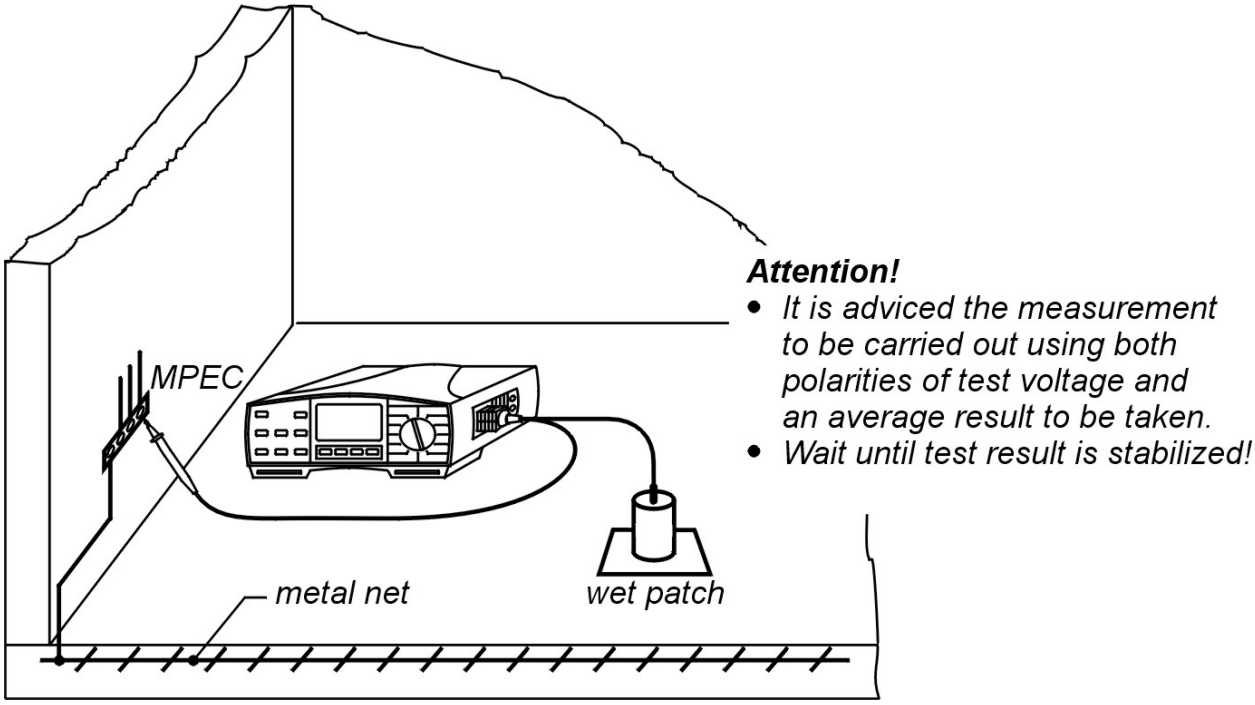

Attention!
• It is adviced the measurement to be carried out using both polarities of test voltage and an average result to be taken.
• Wait until test result is stabilized!
MPEC
metal net
wet patch

Bild 106: *Widerstandsmessung von schwach leitendem Fußboden*

Die Messung ist zwischen der Prüfelektrode und dem metallischen, gewöhnlich mit dem Schutzleiter PE verbundenen Netz auszuführen, das im Fußboden installiert ist. Die Abmessungen der Fläche, auf der die Messungen durchgeführt werden, sollten mindestens 2 × 2 m betragen.

13.2 Spezifischer Erdwiderstand nach EN 61557-5

Was ist der spezifische Erdwiderstand?
Dies ist der Widerstand von Bodenmaterial, geformt zu einem Würfel von 1 × 1 × 1 m, bei dem die Messelektroden an entgegengesetzten Seiten des Würfels angebracht sind, siehe nachstehendes Bild.

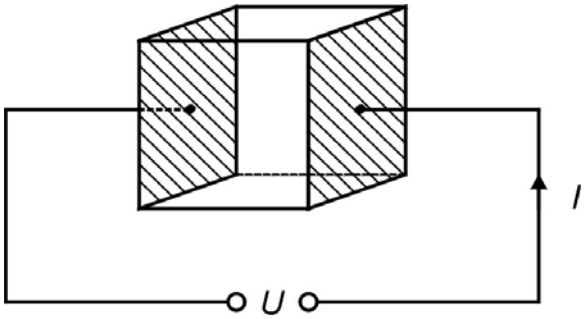


Bild 107: *Darstellung des spezifischen Erdwiderstands*

Messung des spezifischen Erdwiderstands
Die Messung wird durchgeführt, um eine genauere Berechnung des Erdungssystems sicherzustellen, z. B. für Hochspannungsverteilungssäulen, große Industrieanlagen, Blitzschutzsysteme usw.
Es sollte eine Prüfwechselspannung benutzt werden, weil bei Verwendung einer Prüfgleichspannung elektrochemische Prozesse im gemessenen Bodenmaterial auftreten können.
Der Wert des spezifischen Erdwiderstands wird in Ωm ausgedrückt; sein absoluter Wert hängt vom Aufbau des Bodenmaterials ab.
Das Messprinzip ist im nachstehenden Bild dargestellt.

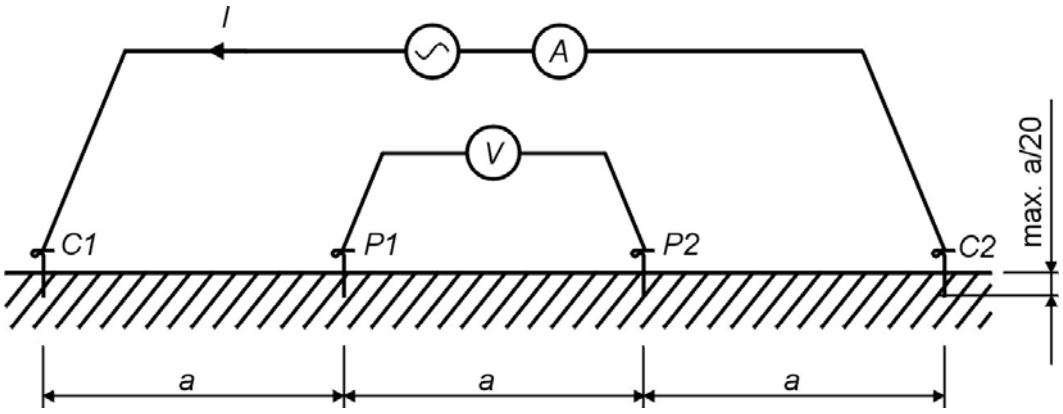


Bild 108: *Messprinzip*

$$\rho = 2 \pi a U / I \qquad \textit{Gl. 46}$$

a..... Abstand zwischen Prüfsonden.
U..... Spannung zwischen Prüfsonden P1 und P2, gemessen mit dem Voltmeter.
I..... Prüfstrom, gespeist durch einen Wechselstromgenerator und gemessen mit dem Amperemeter.
ρ..... Spezifischer Erdwiderstand.

Die obige Gleichung gilt, wenn die Prüfsonden um mindestens a/20 in den Boden getrieben werden.
Um objektivere Ergebnisse zu erhalten, ist zu empfehlen, die Messungen in verschiedenen Richtungen (z. B. 90° zur ersten Messung) zu wiederholen und den Mittelwert zu bilden.
Wenn man unterschiedliche Abstände zwischen den Prüfsonden wählt, bedeutet dies, dass das Material in verschiedenen Tiefen gemessen wird. Je größer der Abstand ist, desto tiefere Schichten des Bodenmaterials werden gemessen.

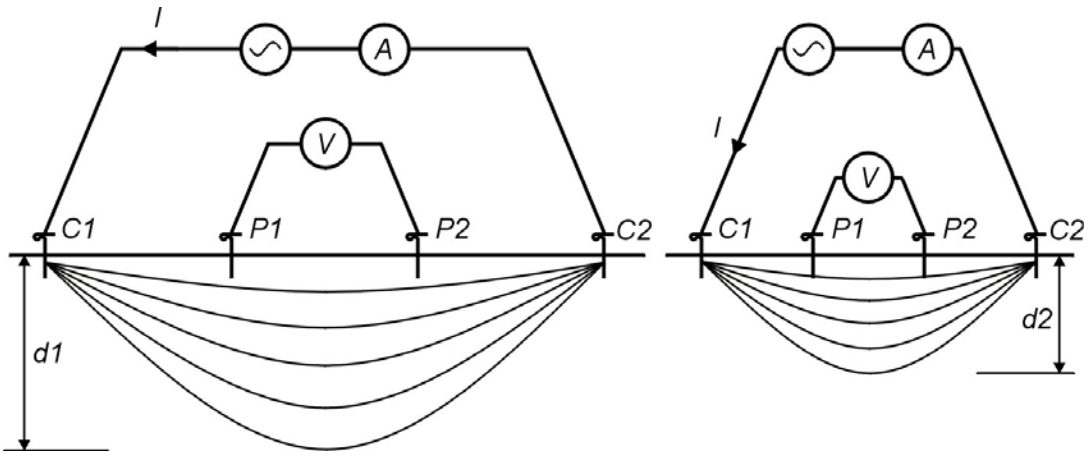


Bild 109: *Einfluss des Abstands a auf die gemessene Tiefe*

d1..... Betroffene Tiefe bei größerem Abstand a zwischen den Prüfsonden.
d2..... Betroffene Tiefe bei geringerem Abstand a zwischen den Prüfsonden.

Die Erdungselektrode sollte an einer Stelle und Tiefe angebracht werden, an der der niedrigste Erdwiderstand erreicht wird (oder es muss zumindest ein annehmbarer Kompromiss erzielt werden); deshalb müssen Prüfergebnisse aus verschiedenen Tiefen ermittelt werden.
Auch eine Struktur des Bodenmaterials kann grob durch Messung des spezifischen Erdwiderstands ermittelt werden.
Die nachstehende Tabelle gibt Orientierungswerte von spezifischen Erdwiderständen für einige typische Bodenmaterialien an.

Art des Bodenmaterials	Spezifischer Erdwiderstand in Ωm
Meereswasser	0,5
Süßwassersee- oder Flusswasser	10 – 100
gepflügte Erde	90 – 150
Beton	150 – 500
nasser Kies	200 – 400
feiner trockener Sand	500
Kalk	500 – 1000
trockener Kies	1000 – 2000
steiniger Boden	100 – 3000

Tabelle 43: *Orientierungswerte von spezifischen Erdwiderständen für einige typische Bodenmaterialien*

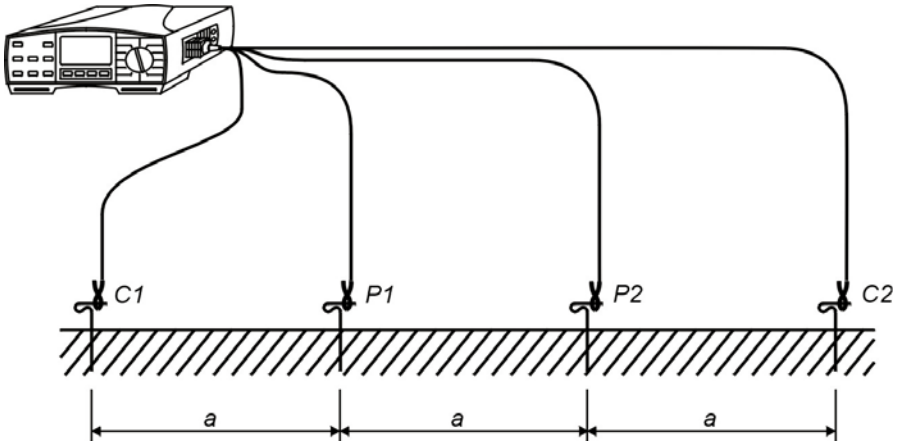


Bild 110: *Praktische Messung des spezifischen Erdwiderstands*

13.3 Überspannungsschutzbauteile

Überspannungsschutzbauteile werden gewöhnlich benutzt, um hochempfindliche elektronische Geräte vor Blitzauswirkungen zu schützen. Der Schutz wird am meisten in Gebieten benötigt, in denen oft atmosphärische Entladungen auftreten. Beispiele für zu schützende Lasten sind PCs, Drucker, Telefonvermittlungen usw. Die Schutzbauteile sind entweder dauernd in einer elektrischen Anlage installiert oder werden beim geschützten Gerät in eine Netzanlage eingefügt (als Teil des Netzsteckers, der Verlängerungsleitung usw.).

Um den effektivsten Schutz zu bieten, werden die Bauteile gewöhnlich in mehreren Stufen installiert, nämlich:

- in Schaltschränken am Eingang der Netzspannung (zum Verhindern einer Ausbreitung von Netzüberspannungen)
- in Verteilerschränken von einzelnen Anlageneinheiten
- nahe bei angeschlossenen elektrischen Lasten (Geräten).

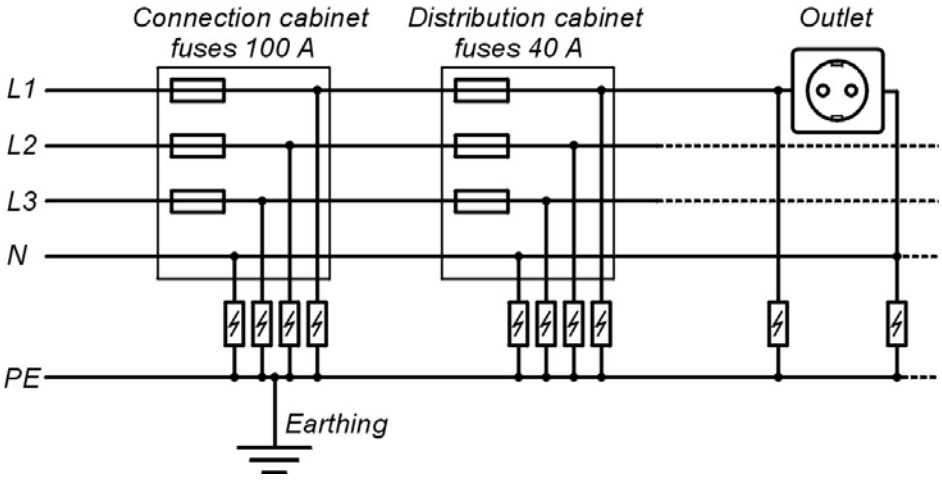


Bild 111: *Schaltung eines mehrstufigen Schutzes*

Die Konstruktion von Schutzbauteilen ist sehr unterschiedlich. Sie können nur aus Varistoren, Gasentladungsableitern, schnellen Dioden, Spulen, Kondensatoren oder einer Kombination davon und mit anderen Schutzelementen bestehen.

Die Bauteile können aufgrund der Aufnahme von Hochspannungsimpulsen ihre Kennlinie auf zwei Weisen verändern:

- Die Durchschlagsspannung kann sinken. Aus diesem Grund können sie durch die Netzspannung selbst zerstört werden.
- Sie können vollständig unterbrechen. Damit geht die Schutzfunktion vollständig verloren.

Prüfgeräte wie EurotestAT oder Eurotest XA können zerstörungsfreie Prüfungen von Varistor-Überspannungsschutzbauteilen mit Prüfspannungen von 50 bis 1000 V vornehmen.
Das Messprinzip ist im nachstehenden Bild dargestellt.

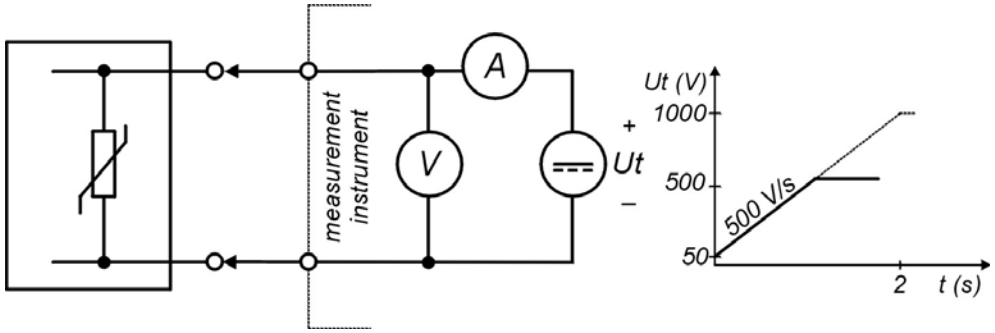


***Bild 112:** Messprinzip*

Ein Gleichstromgenerator erhöht die Prüfspannung mit einer Anstiegsrampe von 500 V/s, während das Amperemeter den Durchlassstrom misst. Sobald der Strom den Wert 1 mA (den Schwellenstrom) erreicht, beendet der Generator die Erzeugung der Prüfspannung, und die letzte Spannung wird angezeigt (Durchbruchspannung).
Der Anwender muss die angezeigte Prüfspannung mit der auf dem Gehäuse des Bauteils angegebenen Nennspannung vergleichen und bei Bedarf das Bauteil austauschen.
Das Schutzbauteil wird unter folgenden Bedingungen als defekt angesehen:

- Wenn es unterbrochen ist (angezeigtes Ergebnis >1000 V). Es hat keine Schutzfunktion mehr.
- Wenn die angezeigte Durchbruchspannung zu hoch ist (der angezeigte Wert zum Beispiel das Doppelte des Nennwerts beträgt). Der Schutz ist teilweise fehlerhaft und erlaubt möglicherweise zu hohe Überspannungen,
- Wenn die angezeigte Durchbruchspannung zu niedrig ist (der angezeigte Wert nahe bei der Netz-Nennspannung liegt). Die Netzspannung kann dann demnächst die vollständige Zerstörung des Bauteils bewirken.

Hinweis

- Die Prüfung ist an dem spannungsfreien Schutzbauteil vorzunehmen.
- Das geprüfte Bauteil sollte vor seiner Prüfung aus der Anlage entnommen werden, damit nicht andere an der Anlage angeschlossene Lasten die Prüfung beeinflussen.